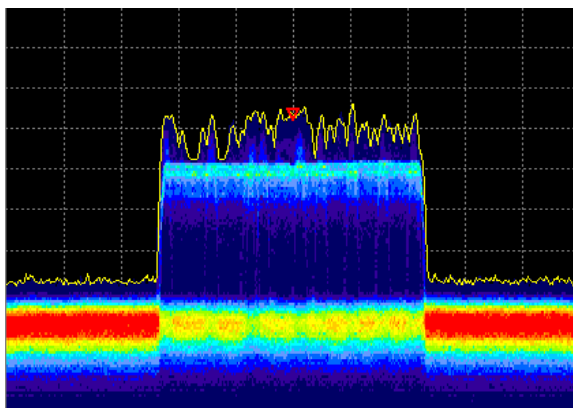




**Sérgio de Jesus  
Pereira Antunes**

## **PROCEDIMENTOS DE MEDIDA BLOCK EDGE MASK PARA SISTEMAS SEM FIOS DE NOVA GERAÇÃO**







**Sérgio de Jesus  
Pereira Antunes**

## **PROCEDIMENTOS DE MEDIDA BLOCK EDGE MASK PARA SISTEMAS SEM FIOS DE NOVA GERAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Nuno Miguel Gonçalves Borges de Carvalho, Professor Catedrático do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro e coorientação do Doutor Eng. José Pedro Mateiro Matias Borrego, da Direção de Gestão do Espectro da ANACOM.

Apoio financeiro da  
ANACOM  
Autoridade Nacional de Comunicações



## **o júri**

presidente

**Prof.<sup>a</sup> Doutora Susana Isabel Barreto de Miranda Sargento**

Professora Associada com Agregação da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor António José Castelo Branco Rodrigues**

Professor Auxiliar do Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa

**Prof. Doutor Nuno Miguel Gonçalves Borges de Carvalho**

Professor Catedrático da Universidade de Aveiro (Orientador)

PÁGINA EM BRANCO

## **agradecimentos**

Quero expressar os meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para que esta Dissertação de Mestrado pudesse vir a ser uma realidade, em particular:

À minha esposa Fernanda e aos meus filhos Martim e Tomás pelo apoio e paciência demonstrados ao longo do período de execução deste trabalho, durante o qual não lhes pude dar todo o apoio e ajuda que gostaria.

Ao meu colega e coorientador Doutor José Pedro Mateiro Matias Borrego, por me ter lançado este desafio e por me ter incentivado, ajudado e mostrado toda a disponibilidade durante a elaboração da presente dissertação, cujo apoio permitiu levar “este navio a bom porto”, especialmente nos momentos em que tudo parecia “não andar”.

Ao meu orientador, Prof. Doutor Nuno Miguel Gonçalves Borges de Carvalho, por ter aceitado ser meu orientador, apesar de todos os condicionalismos que a distância física entre ambos iria colocar.

Aos meus colegas da ANACOM, por me terem apoiado, ajudado e incentivado, seja pela ajuda nos trabalhos inerentes às componentes prática e experimental desta dissertação, nas palavras de apoio, ou apenas pelos momentos de boa disposição que ajudavam a “levantar a moral” e me faziam sorrir quando os trabalhos não andavam tão bem.

À ANACOM pelo financiamento e por ter permitido a utilização dos seus meios para a elaboração deste trabalho.

PÁGINA EM BRANCO



## palavras-chave

Máscara Delimitadora de Bloco (Block Edge Mask - BEM), LTE, RTSA, análise tempo-frequência, ECC, gestão de espectro.

## resumo

A utilização do espectro pelos diversos serviços de radiocomunicações é cada vez mais exigente, impondo-se, inevitavelmente, a adoção de novas técnicas e paradigmas de partilha do espectro, que possam fazer face às necessidades crescentes de largura de banda, tendo em vista a disponibilização de maiores débitos binários, requeridos pelos sistemas de comunicações digitais atuais e por aqueles que se perspetivam num futuro próximo.

Os organismos europeus, com competências na matéria, decidiram que a verificação dos requisitos técnicos de utilização das faixas de frequências atribuídas, em particular, aos sistemas LTE deveriam basear-se no conceito de Block Edge Mask (BEM), dentro da qual, o sinal deverá permanecer de acordo com as regras estabelecidas, ficando à consideração do operador, cujo bloco de frequências se encontra consignado, a escolha da tecnologia que melhor se adequa aos requisitos e ao tipo de serviço que pretende fornecer aos utilizadores finais.

Do ponto de vista da verificação dos requisitos técnicos aplicáveis, o processo de medição, atualmente em vigor, segue a metodologia preconizada pela Recomendação ECC REC(11)06 – “*Block Edge Mask Compliance Measurements for Base Stations*”. Trata-se, porém, de um processo de medição moroso, com algumas lacunas ao nível da deteção de eventos variantes no tempo e de duração muito reduzida (transitórios), cuja aplicabilidade importa escrutinar e propor, se necessário, métodos alternativos mais adequados e eficientes.

Pretende-se, por isso, com esta dissertação propor uma atualização da ECC REC(11)06, com base num método de medição alternativo.

PÁGINA EM BRANCO

## **keywords**

Block Edge Mask - BEM, LTE, RTSA, time-frequency analysis, ECC, spectrum management.

## **abstract**

The use of spectrum by the various radiocommunication services is becoming more and more demanding, leading to the adoption of new spectrum-sharing techniques and paradigms that can meet the increasing bandwidth requirements to reach higher binary rates, required by current digital communications systems and by those who are prospective in the near future.

The relevant European bodies have decided that the verification of the technical requirements for the use of the frequency bands allocated in particular to LTE systems should be based on the Block Edge Mask (BEM) concept within which the signal should remain in accordance with the rules laid down, the choice of the technology that best fits the requirements and the type of service that it intends to provide to the final users is taken into account for the operator whose frequency block is assigned.

From the point of view of verifying the applicable technical requirements, the measurement process, currently in force, follows the methodology recommended by Recommendation ECC REC (11) 06 - "Block Edge Mask Compliance Measurements for Base Stations". However, this is a lengthy measurement process, with some shortcomings in the detection of time-varying and very short-term (transient) events, the applicability of which should be analysed and, where appropriate, more suitable and efficient alternative methods proposed.

Therefore, this dissertation proposes an update of ECC REC (11) 06, based on an alternative measurement method.

PÁGINA EM BRANCO

# Índice

<b>Índice .....</b>	<b>i</b>
<b>Lista das Figuras .....</b>	<b>v</b>
<b>Lista de Tabelas .....</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de Siglas e Acrónimos .....</b>	<b>ix</b>
<b>1 Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação .....	1
1.2 Objetivo .....	4
1.3 Organização da Dissertação .....	4
<b>2 <i>Block Edge Mask</i> .....</b>	<b>7</b>
2.1 Conceito da BEM .....	7
2.2 ECC REC(11)06 .....	9
2.3 LTE na faixa dos 700 MHz (LTE700) .....	11
2.4 Definição da BEM.....	15
2.5 Processo de validação da BEM.....	20
2.5.1 Processo de decisão do método de validação da BEM .....	20
2.5.2 Aplicação da BEM.....	22
2.5.2.1 Medições Radiadas.....	23
2.5.2.2 Medições Conduzidas .....	24
2.5.2.3 Procedimento de Medição .....	25
2.5.3 Vantagens e desvantagens dos métodos de validação da BEM .....	33
<b>3 Analisador de Espectros .....</b>	<b>35</b>
3.1 Analisador de Espectros Super-Heteródino .....	35
3.1.1 Características relevantes de um analisador de espectros .....	36
3.1.1.1 Faixa de Frequência .....	36
3.1.1.2 Resolução em Frequência (RBW).....	36

3.1.1.3	Sensibilidade .....	37
3.1.1.4	Relação entre faixa de frequência ( <i>span</i> ), velocidade de varrimento ( <i>sweep time</i> ) e resolução em frequência (RBW) .....	37
3.1.1.5	Detetores .....	38
3.1.1.6	Gama Dinâmica.....	39
3.2	Analizador de Sinais Vetoriais .....	40
3.2.1	Janelamento .....	41
3.2.2	<i>Fast Fourier Transform</i> .....	44
3.3	Analizador de Espectros em Tempo Real.....	45
3.3.1	Diagrama de Blocos.....	48
3.3.2	Máscara em Frequência.....	49
4	<b>Caso de Estudo – Validação da BEM.....</b>	<b>51</b>
4.1	Método usado para a validação da BEM de acordo com a ECC REC(11)06 53	
4.1.1	Descrição do método .....	54
4.1.2	Implementação e validação.....	57
4.1.2.1	Sinal de Teste E-TM 1.1.....	58
4.1.2.2	Sinal de Teste E-TM 1.2.....	60
4.1.2.3	Sinal de Teste E-TM 2.....	61
4.1.2.4	Sinal de Teste E-TM 3.1.....	63
4.1.3	Vantagens e Desvantagens .....	64
4.2	Proposta de Melhoramento da ECC REC(11)06.....	64
4.2.1	Descrição do Método.....	65
4.2.2	Implementação e Testes.....	66
4.2.2.1	Programa de verificação da conformidade do sinal com a máscara BEM para efeitos de estudo .....	66
4.2.2.2	Programa de verificação da conformidade do sinal com a máscara BEM proposto .....	68
4.2.2.3	Casos práticos .....	78
4.2.2.4	Sinais de Teste E-TM.....	79
4.2.2.5	Sinais Reais LTE800.....	81
4.2.3	Vantagens e Desvantagens .....	84
4.3	Deteção de Interferências no sinal de LTE.....	85
5	<b>Conclusões .....</b>	<b>89</b>
5.1	Comparação dos Métodos .....	89
5.2	Proposta de melhoramento da ECC REC(11)06.....	91
5.2.1	Corpo principal da recomendação.....	91
5.2.2	Anexo 1 da recomendação .....	92

5.2.3 Anexo 2 da recomendação .....	98
5.2.4 Anexo 3 e futuro Anexo 4 da recomendação .....	98
<b>Bibliografia .....</b>	<b>101</b>
<b>Proposta de melhoramento da ECC REC(11)06 .....</b>	<b>105</b>

PÁGINA EM BRANCO



# Lista das Figuras

Fig. 1-1 – Alocação do Espectro em Portugal. ( <i>Fonte: ANACOM</i> ) .....	1
Fig. 2-1 - Representação genérica de uma BEM.....	8
Fig. 2-2 - Exemplo de um arranjo em frequência do LTE700 .....	12
Fig. 2-3 - Estrutura de uma <i>frame</i> do LTE .....	13
Fig. 2-4 – Definição da Largura de Banda do Canal e configuração da Largura de Banda da transmissão para uma portadora LTE (E-UTRA).....	14
Fig. 2-5 - Espectro típico ( <i>Fonte: CEPT, REC(11)06 [5]</i> ).....	14
Fig. 2-6 – Exemplo de BEM para uma EB do LTE700, de acordo com a Decisão(15)01 [6] [13].....	19
Fig. 2-7 – Processo de aplicação do método de validação da BEM.....	21
Fig. 2-8 – Diagrama exemplificativo do cálculo da PIRE em medições radiadas.....	24
Fig. 2-9 - Diagrama exemplificativo do cálculo da PIRE em medições conduzidas.....	25
Fig. 2.10 – <i>Setup</i> para Medição Radiada.....	28
Fig. 2.11 – Exemplo de medição da BEM, para o caso do LTE800 [6].....	30
Fig. 2.12 – Exemplo de espectro de uma estação base de LTE reconstruído e comparado com a BEM aplicável [3]......	31
Fig. 2.13 - <i>Setup</i> de Medição para Medição Conduzida .....	32
Fig. 3-1 – Diagrama de blocos de um analisador de espectros super-heteródino.....	36
Fig. 3-2 – Detetores de pico e amostra [34].....	39
Fig. 3-3 – Diagrama de blocos de um analisador de sinais vetorial .....	40
Fig. 3-4 – Filtro <i>anti-aliasing</i> , com banda de guarda de 40 a 50% da frequência de amostragem [35] .....	41
Fig. 3-5 – Exemplo do processamento de uma onda sinusoidal de 1 kHz [35]. .....	41
Fig. 3-6 – Janelamento [35].....	42
Fig. 3-7 – Representações de dois sinais diferentes no domínio do tempo e no domínio da frequência [3]. .....	45
Fig. 3-8 – Captura sequencial do espectro nos analisadores de espectro tradicionais [3].....	46
Fig. 3-9 – Captura de sinal usando múltiplas janelas de FFT consecutivas e em sobreposição [3].....	47
Fig. 3-10 – Diagrama de blocos de um RTSA.....	48
Fig. 3-11- Comparação de um analisador de espectros tradicional e um espectro de persistência ( <i>Fonte: Rohde &amp; Schwarz [36]</i> ).....	48
Fig. 3-12 - Exemplo do processo de definição da máscara em frequência ( <i>Fonte: Rohde &amp; Schwarz [36]</i> ).....	50
Fig. 3-13 - Aplicação prática da máscara em frequência num sinal WLAN ( <i>Fonte: Rohde &amp; Schwarz [36]</i> ) .....	50
Fig. 4-1 – Espectro real da faixa de <i>downlink</i> do LTE.....	53
Fig. 4-2 – Medição por troços de faixa com limites equivalentes.....	55
Fig. 4-3 – Ecrã do programa de aquisição de dados.....	56
Fig. 4-4 – Diagrama de blocos simplificado do <i>setup</i> de teste.....	57
Fig. 4-5 – <i>Setup</i> de medição e testes.....	58
Fig. 4-6 - Sinal E-TM 1.1 definido pela ETSI TS 136 141.....	59
Fig. 4-7 – Sinal E-TM 1.1 análise espectral e em tempo real .....	59
Fig. 4-8 – Sinal E-TM 1.1 e máscara BEM obtida .....	59
Fig. 4-9 - Sinal E-TM 1.2 definido pela ETSI TS 136 141.....	60
Fig. 4-10 – Sinal E-TM 1.2 análise espectral e em tempo real .....	60
Fig. 4-11 – Sinal E-TM 1.1 medido e máscara BEM.....	61
Fig. 4-12 - Sinal E-TM 2 definido pela ETSI TS 136 141.....	61

Fig. 4-13 – Sinal E-TM 2 análise espectral .....	62
Fig. 4-14 – Sinal E-TM 1.2 análise em tempo real.....	62
Fig. 4-15 – Sinal E-TM 1.2 medido e máscara BEM.....	62
Fig. 4-16 – Sinal E-TM 3.1 definido pela ETSI TS 136 141 .....	63
Fig. 4-17 – Sinal E-TM 3.1 análise espectral e em tempo real .....	63
Fig. 4-18 – Sinal E-TM 3.1 medido e máscara BEM.....	64
Fig. 4-19 – Página da configuração geral .....	66
Fig. 4-20 – Página da definição das medições automáticas .....	68
Fig. 4-21 – Página inicial de configuração do programa .....	69
Fig. 4-22 – Seleção dos Ficheiros com os sinais LTE .....	70
Fig. 4-23 – Configuração dos parâmetros para a STFT .....	71
Fig. 4-24 – Página de configuração da máscara BEM.....	72
Fig. 4-25 – Configuração dos parâmetros para construção da máscara BEM.....	72
Fig. 4-26 – Máscara BEM para uma PIRE de 54,8 dBm/10MHz .....	72
Fig. 4-27 – Página de resultados da análise.....	73
Fig. 4-28 – Parte da programação relativa ao cálculo da STFT.....	74
Fig. 4-29 – Parte da programação relativa ao cálculo da PDF, CDF e CCDF .....	74
Fig. 4-30 – Página de resultados da análise após conclusão dos cálculos.....	75
Fig. 4-31 – Exemplo de <i>zoom</i> efetuado no espectrograma .....	75
Fig. 4-32 – Forma de onda ao longo do tempo.....	76
Fig. 4-33 – Espectro do sinal após se ter efetuado um <i>zoom</i> .....	76
Fig. 4-34 – Espectro do sinal .....	77
Fig. 4-35 – Espectro do sinal “suavizado ” .....	77
Fig. 4-36 – Histograma do PAPR do sinal LTE.....	77
Fig. 4-37 – Função densidade probabilidade (PDF) .....	77
Fig. 4-38 – Função distribuição acumulada (CDF) .....	77
Fig. 4-39 – Função distribuição acumulada complementar (CCDF).....	77
Fig. 4-40 – Espectrograma do sinal com indicação de onde foi violada a máscara BEM .....	78
Fig. 4-41 – Espectro do sinal num dos instantes em que foi violada a máscara BEM (detalhe da zona em causa) .....	78
Fig. 4-42 – Análise do sinal de teste E-TM 1.1, com <i>frequency bins</i> = 512 e <i>window length</i> = 4096.....	79
Fig. 4-43 – Análise do sinal de teste E-TM 1.2, com <i>frequency bins</i> = 1024 e <i>window length</i> = 2048.....	80
Fig. 4-44 – Análise do sinal de teste E-TM 2, com <i>frequency bins</i> = 2048 e <i>window length</i> = 4096.....	80
Fig. 4-45 – Análise do sinal de teste E-TM 3.1, com <i>frequency bins</i> = 512, <i>window length</i> = 2048 e <i>zoom</i> do espectrograma. ....	81
Fig. 4-46 – Análise do sinal com muito tráfego, com <i>frequency bins</i> = 512 e <i>window length</i> = 2048. ....	82
Fig. 4-47 – <i>Zoom</i> do espectrograma para visualização mais pormenorizada do sinal com muito tráfego. ....	82
Fig. 4-48 – Análise do sinal com tráfego médio, com <i>frequency bins</i> = 2048 e <i>window length</i> = 2048. ....	83
Fig. 4-49 – <i>Zoom</i> do espectrograma para visualização mais pormenorizada do sinal com tráfego médio. ....	83
Fig. 4-50 – Análise do sinal sem tráfego, com <i>frequency bins</i> = 1024 e <i>window length</i> = 4096.....	84
Fig. 4-51 – <i>Zoom</i> do espectrograma para visualização mais pormenorizada do sinal sem tráfego. ....	84
Fig. 4.52 – Detecção de Interferência por violação da BEM – Exemplo 1. ....	86
Fig. 4.53 – Detecção de Interferência por violação da BEM – Exemplo 2. ....	87

# Lista de Tabelas

Tabela 2-1 – Faixas de operação E-UTRA [17][18] .....	12
Tabela 2-2 – Elementos constituintes da BEM de uma estação de base no LTE700 [5] [13] .....	16
Tabela 2-3 - Requisitos de referência para as estações de base do LTE700.....	16
Tabela 2-4 - Requisitos de transição para as estações de base do LTE700 na faixa dos 733-788 MHz.....	17
Tabela 2-5 - Requisitos de transição para as estações de base do LTE700 acima dos 788 MHz .....	17
Tabela 2-6 - Requisitos para as estações de base do LTE700 para a parte do Duplex Gap FDD não utilizados pelos SDL, PPDR ou M2M .....	18
Tabela 2-7 - Requisitos para as estações de base do LTE700 para o espectro das bandas de guarda não usadas pelos PPDR ou M2M .....	18
Tabela 2-8 – Tabela auxiliar para construção da BEM. ....	19
Tabela 2-9 – Parâmetros para medições de avaliação .....	27
Tabela 2-10 – Configuração do Analisador de Espectros para a validação da BEM.....	29
Tabela 2-11 – Configuração do Recetor de Radiocomunicações para a validação da BEM.....	29
Tabela 2-12 - Vantagens e desvantagens dos métodos de validação da BEM [6].....	33
Tabela 3-1 – Aplicação das janelas de acordo com o tipo de sinal a ser analisado.....	42
Tabela 3-2 -.Funções das janelas. ( <i>Fonte: [3] [37]</i> ).....	43
Tabela 3-3. – Resposta no tempo e na frequência das funções das janelas. ....	44
Tabela 4-1 – Resumo dos Modelos de Teste da norma ETSI 136 141 [20] .....	55
Tabela 4-2 – Vantagens e Desvantagens do método pela ECC REC(11)06.....	64
Tabela 4-3 – Transformada escolhida e suas características .....	66
Tabela 4-4 – Vantagens e Desvantagens do método proposto .....	85

PÁGINA EM BRANCO

## Lista de Siglas e Acrónimos

<b>4G</b>	<i>4<sup>th</sup> Generation</i>
<b>ACLR</b>	<i>Adjacent Channel Leakage Ratio</i>
<b>ACPR</b>	<i>Adjacent Channel Power Ratio</i>
<b>ADC</b>	<i>Analogue-to-Digital Converter</i>
<b>AE</b>	<i>Analizador de Espectros</i>
<b>ANACOM</b>	<i>Autoridade Nacional de Comunicações</i>
<b>Att</b>	<i>Attenuation</i>
<b>AWGN</b>	<i>Additive White Gaussian Noise</i>
<b>BCCH</b>	<i>Broadcast Control Channel</i>
<b>BEM</b>	<i>Block Edge Mask</i>
<b>BPF</b>	<i>Band-Pass Filter</i>
<b>BS</b>	<i>Base station</i>
<b>BW</b>	<i>Bandwidth</i>
<b>BWA</b>	<i>Broadband Wireless Access</i>
<b>CCDF</b>	<i>Complementary Cumulative Distribution Function</i>
<b>CDF</b>	<i>Cumulative Distribution Function</i>
<b>CE</b>	<i>Comissão Europeia</i>
<b>CEPT</b>	<i>European Conference of Postal and Telecommunications Administrations</i>
<b>CPICH</b>	<i>Common Pilot Channel</i>
<b>CS</b>	<i>Central Station</i>
<b>CW</b>	<i>Continuous Wave (unmodulated carrier)</i>
<b>DAC</b>	<i>Digital-to-Analogue Converter</i>
<b>DANL</b>	<i>Displayed Average Noise Level</i>
<b>dB</b>	<i>Decibel</i>
<b>dBm</b>	<i>Decibel relative to a Power of 1 milliwatt (1 mW)</i>
<b>dB<math>\mu</math>V</b>	<i>Decibel relative to a Voltage of 1 microvolt (1 <math>\mu</math>V)</i>
<b>dB<math>\mu</math>V/m</b>	<i>Decibel relative to an Electrical Field Strength of 1 microvolt/meter (1 <math>\mu</math>V/m)</i>
<b>dBW</b>	<i>Decibel relative to a Power of 1 Watt (1 W)</i>
<b>DC</b>	<i>Direct Current (or Zero-Frequency)</i>
<b>DFT</b>	<i>Discrete Fourier Transform</i>
<b>DL</b>	<i>Downlink</i>
<b>DPX</b>	<i>Digital Phosphor Technology (Tektronix's Trade Mark)</i>
<b>DSP</b>	<i>Digital Signal Processor</i>
<b>DTT</b>	<i>Digital Terrestrial Television</i>
<b>DUF</b>	<i>Direitos de Utilização de Frequência</i>
<b>EIRP</b>	<i>Equivalent Isotropic Radiated Power</i>
<b>EC</b>	<i>European Commission</i>
<b>ECC</b>	<i>Electronic Communications Committee</i>

<b>ETSI</b>	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
<b>E-TM</b>	<i>LTE Downlink Test Model</i>
<b>EU</b>	<i>European Union</i>
<b>E-UTRA</b>	<i>Evolved UMTS Terrestrial Radio Access</i>
<b>FDD</b>	<i>Frequency Division Duplex</i>
<b>FFT</b>	<i>Fast Fourier Transform</i>
<b>FM</b>	<i>Frequency Modulation</i>
<b>FPGA</b>	<i>Field Programmable Gate Array</i>
<b><math>f_s</math></b>	<i>Sampling Frequency</i>
<b>GSM</b>	<i>Global System for Mobile communication</i>
<b>IEEE</b>	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
<b>IF</b>	<i>Intermediate Frequency</i>
<b>IQ</b>	<i>In-phase Quadrature</i>
<b>ITU</b>	<i>International Telecommunication Union</i>
<b>ITU-R</b>	<i>International Telecommunication Union – Radiocommunication Sector</i>
<b>LTE</b>	<i>Long Term Evolution</i>
<b>LTE700</b>	<i>Long Term Evolution in 700 MHz band</i>
<b>LTE800</b>	<i>Long Term Evolution in 800 MHz band</i>
<b>M2M</b>	<i>Machine To Machine</i>
<b>MFCN</b>	<i>Mobile/Fixed Communications Networks</i>
<b>ML</b>	<i>Mobile Station</i>
<b>NRA</b>	<i>National Regulatory Authority</i>
<b>OFDM</b>	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
<b>OR</b>	<i>Organismo Regulador</i>
<b>PAMR</b>	<i>Public Access Mobile Radio</i>
<b>PBCH</b>	<i>Physical Broadcast Channel</i>
<b>PPDR</b>	<i>Public Protection and Disaster Relief</i>
<b>QAM</b>	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
<b>QPSK</b>	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
<b>PAPR</b>	<i>Peak-to-Average Power Ratio</i>
<b>PDF</b>	<i>Probability Distribution Function</i>
<b>PDSCH</b>	<i>Physical Downlink Shared CHannel</i>
<b>PIRE</b>	<i>Potência Isotrópica Radiada Equivalente</i>
<b>PRB</b>	<i>Physical Resource Block</i>
<b>PT22</b>	<i>Project Team 22</i>
<b>RB</b>	<i>Resource Block</i>
<b>RBW</b>	<i>Resolution Bandwidth</i>
<b>REC</b>	<i>Recommendation</i>
<b>Ref</b>	<i>Reference</i>
<b>RMS</b>	<i>Root Mean Square</i>
<b>RR</b>	<i>Radio Regulations</i>
<b>RTBW</b>	<i>Real Time Bandwidth</i>

<b><i>RTSA</i></b>	<i>Real Time Spectrum Analyser</i>
<b><i>R&amp;TTE</i></b>	<i>Radio and Telecommunication Terminal Equipment</i>
<b><i>SA</i></b>	<i>Spectrum Analyser</i>
<b><i>SAE</i></b>	<i>System Architecture Evolution</i>
<b><i>SDL</i></b>	<i>Supplemental DownLink</i>
<b><i>SEM</i></b>	<i>Spectrum Emission Mask</i>
<b><i>S/N</i></b>	<i>Signal-to-Noise Ratio</i>
<b><i>STFT</i></b>	<i>Short-Time Fourier Transform</i>
<b><i>SWT</i></b>	<i>Sweep Time</i>
<b><i>TDD</i></b>	<i>Time Division Duplex</i>
<b><i>TDT</i></b>	<i>Televisão Digital Terrestre</i>
<b><i>TF</i></b>	<i>Transformada de Fourier</i>
<b><i>TS</i></b>	<i>Terminal Station</i>
<b><i>UE</i></b>	<i>User Equipment</i>
<b><i>UL</i></b>	<i>Up Link</i>
<b><i>UMTS</i></b>	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
<b><i>VBW</i></b>	<i>Video Bandwidth</i>
<b><i>VSA</i></b>	<i>Vector Signal Analyser</i>
<b><i>WAPECS</i></b>	<i>Wireless Access Policy for Electronic Communications Services</i>
<b><i>WGFM</i></b>	<i>Working Group Frequency Management</i>

PÁGINA EM BRANCO

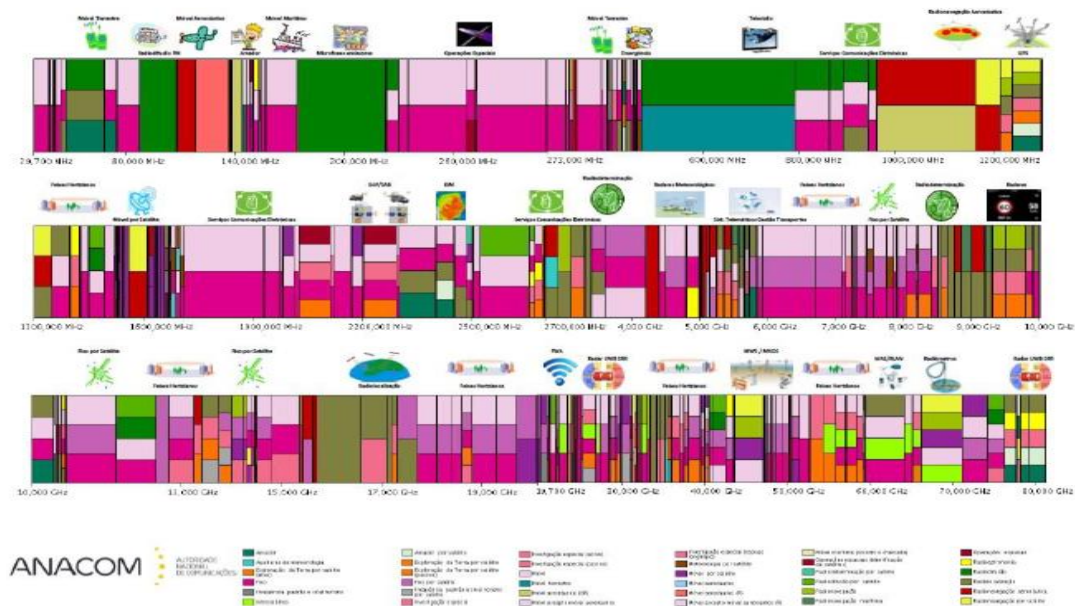


## 1 Introdução

### 1.1 Motivação

A utilização do espectro pelos diversos serviços de radiocomunicações é cada vez mais elevada, quer pela diversidade crescente e em quantidade expressiva de sistemas de radiocomunicações, quer pela necessidade de introdução de novos serviços, novas técnicas ou paradigmas de partilha do espectro, que possam permitir maiores larguras de banda, de modo a disponibilizar maiores débitos binários aos novos sistemas de comunicações digitais.

Por outro lado, a coexistência de serviços nas mesmas faixas de frequências, devido à escassez de espectro nas faixas de frequência mais apetecíveis, requer o uso de técnicas de partilha passíveis de introduzir o mínimo de constrangimentos e interferências entre diferentes utilizadores.



De modo a garantir que os utilizadores do espectro autorizados possam operar, sem se interferirem mutuamente, é necessário assegurar que cumprem os regulamentos e normas nacionais e internacionais, por exemplo, não excedendo a largura de banda autorizada, cingindo-se à utilização da frequência consignada, e não interferindo outros utilizadores e serviços, em canais adjacentes.

Em Portugal, a Autoridade Nacional de Comunicações (ANACOM) é o órgão regulador (OR) do setor das comunicações, incluindo as comunicações eletrónicas e o setor postal, com a incumbência de atribuir, alterar e revogar direitos de utilização de frequências (DUF), implementar as leis e os regulamentos, bem como os atos da União Europeia aplicáveis ao sector das comunicações [1]

No caso em concreto das emissões associadas ao sistema *Long-Term Evolution* (LTE), as entidades europeias decidiram que a verificação das condições técnicas para o uso desta faixa de frequências, atribuída em cada um dos canais disponíveis, quer no LTE800, quer no caso do LTE700, basear-se-á no conceito de *Block Edge Mask* (BEM), que é, no fundo, uma máscara espectral, dentro da qual, o sinal deve permanecer. Estas máscaras são genéricas, permitindo ao operador, que detém, por consignação, o bloco de frequências em questão, usar a tecnologia que melhor se adequa ao tipo de serviço que pretende fornecer aos utilizadores, desde que cumpra com os limites, em termos de potência, impostos pela BEM.

No entanto, devido à existência de outros serviços nas faixas adjacentes, como por exemplo a Televisão Digital Terrestre (TDT), a decisão de 6 de maio de 2010 da Comissão Europeia (CE) [2] impõe limites específicos de modo a proteger estes serviços, levando a que as máscaras tenham um contorno intrincado, tendo que ser definidas caso a caso, consoante a utilização prevista para as frequências adjacentes.

A tese de doutoramento do Doutor José Pedro M. M. Borrego – “Impacto do Comportamento Transitório de Sistemas de Radiocomunicações na Gestão do Espectro” [3], estuda detalhadamente a aplicação de máscaras BEM a sinais do tipo LTE, na qual conclui que o uso de um analisador de espectros genérico no processo de validação de uma máscara BEM para estes sinais não é o método mais adequado. Ao estudar diversas transformadas no domínio do tempo-frequência, concluiu ainda que para se

analisar devidamente um sinal LTE, de modo a validá-lo com recurso a uma máscara do tipo BEM, deverá ser usado um analisador de espectros em tempo real (*Real Time Spectrum Analyser* – RTSA) para efeitos de aquisição de sinal, e uma ferramenta informática de processamento que permita verificar a sua conformidade com os requisitos técnicos pré-estabelecidos.

Na referida tese de doutoramento [3], demonstra-se que a transformada que evidencia um comportamento mais regular e um melhor desempenho é a *Short-Time Fourier Transform* (STFT), com recurso a uma janela retangular, cujo tamanho de janela, para os sinais em apreço, deverá estar compreendido entre 2048 a 4096, e o número de *frequency bins* entre 512 a 2048, por serem valores que, de acordo com o estudo de sinais típicos associados a implementações práticas de sistemas LTE, maximizam o número de potenciais violações da BEM.

Em face das conclusões alcançadas, seria, de todo, importante promover a atualização dos documentos, regulamentos e/ou recomendações técnicas internacionais, de modo a viabilizar a medição e validação das máscaras BEM incorporando, nas metodologias aplicáveis, os conceitos alternativos e as análises propostas.

Por outro lado, o autor da presente dissertação é o representante português no grupo de trabalho WGFM PT 22 – *Monitoring and Enforcement* [4], por indicação da ANACOM. Este grupo é responsável pela elaboração das recomendações técnicas sobre métodos de medição, na área das radiocomunicações, ao nível europeu. Neste âmbito, o autor participou ativa e diretamente nos trabalhos que resultaram na recomendação ECC REC(11)06 - *Block Edge Mask Compliance Measurements for Base Stations*, assim como na sua presente atualização, que passou a incorporar a máscara BEM para os sistemas LTE700.

Complementarmente, o autor da presente dissertação deu o seu contributo e apoio na implementação da ferramenta computacional usada na validação das BEM, proposta na tese de doutoramento do Doutor José Pedro M. M. Borrego [3], pelo que irá, ao longo desta dissertação, apoiar-se nela, para muitas das análises e conclusões. Além disso, tal

ferramenta voltará a ser usada, ainda que numa versão mais simplificada, na análise e validação de sinais de LTE.

## 1.2 Objetivo

Esta dissertação tem como objetivo principal propor um método alternativo para a validação de *Block Edge Masks* (BEM) aplicáveis a sinais LTE (*Long-Term Evolution*), pretendendo-se, simultaneamente, contribuir para uma possível melhoria da Recomendação da ECC REC(11)06 - *Block Edge Mask Compliance Measurements for Base Stations*, a qual será proposta numa próxima reunião do subgrupo de trabalho FM PT 22 – *Monitoring and Enforcement* [4].

## 1.3 Organização da Dissertação

Esta dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos, dos quais, para além da introdução proporcionada pelo presente capítulo, contemplam ainda o estudo da máscara de delimitação de bloco de sinais LTE e os instrumentos utilizados, atualmente, na sua verificação, assim como o estudo e validação da *Block Edge Mask* (BEM) de um sinal LTE, finalizando com as conclusões relevantes.

Em concreto, no Capítulo 2, será detalhado o conceito de BEM, à luz das Decisões ECC(15)01 [5] e da Comissão de 06 de maio de 2010 [2], aplicável à faixa de frequências dos 694 – 790 MHz, também conhecida como a faixa dos 700 MHz. Em complemento, analisar-se-á também a forma como será aplicada ao sinal LTE<sup>1</sup>, tendo em conta a proposta de revisão da Recomendação da ECC REC(11)06, que passará a contemplar este tipo de avaliação.

---

<sup>1</sup> Em outubro de 2016, a proposta de alteração à Recomendação foi analisada pelo grupo da ECC – Frequency Management WGFM PT22.

No Capítulo 3, é descrito o Analisador de Espectros (AE) nas suas diferentes arquiteturas e capacidades, devotando-se especial atenção e uma maior profundidade de análise aos parâmetros passíveis de permitir uma adequada validação do sinal de LTE, quando aplicado o conceito de BEM.

No Capítulo 4, será equacionada a viabilidade de validação da máscara BEM de um sinal de LTE, começando por estabelecer-se uma análise comparativa entre os métodos de medição tradicionais, com recurso ao analisador de espectros, face ao método que é proposto e que resulta do trabalho desenvolvido ao longo desta dissertação.

No Capítulo 5, será apresentada uma proposta de alteração da Recomendação ECC REC(11)06 – *Block Edge Mask Compliance Measurements for Base Stations* com base nas conclusões extraídas da presente dissertação.

PÁGINA EM BRANCO

## 2 *Block Edge Mask*

### 2.1 Conceito da BEM

Uma *Block Edge Mask* (BEM), ou Máscara de Delimitação de Bloco, na sua terminologia em português, é uma máscara de emissão, definida em função da frequência, em relação ao contorno de um bloco espectral, a partir do qual são concedidos direitos de utilização a um operador. Deste bloco, fazem parte componentes *in-block* (intrabloco) e *out-of-block* (fora de bloco), que especificam os níveis de emissão permitidos nas frequências situadas, respetivamente, dentro e fora do bloco de espectro licenciado [2].

As BEM são, para já, o método encontrado pelos organismos reguladores (OR) para permitir a introdução de tecnologias de radiocomunicações, por parte dos operadores, garantindo-lhes, simultaneamente, liberdade de escolha na tecnologia mais adequada à utilização do bloco de espectro atribuído [7], independentemente do número de canais que a implementar – desde que, para o feito, se restrinja às condições estabelecidas pela BEM respetiva aplicável – e, por outro lado, facilite a regulamentação em termos da canalização espectral a adotar pelos OR, assim como a sua eventual partilha e proteção de serviços adjacentes, que possam existir, ou não, à partida.

Na prática, as BEM, entretanto definidas, já impõem limites mais restritivos nas emissões *out-of-block* do que as máscaras de emissão (*Spectrum Emission Mask* – SEM), habitualmente definidas pelas normas emanadas pelo ETSI, aplicáveis às características da interface rádio de um equipamento específico, em contraponto com as

BEM que se destinam a validar a utilização do bloco espectral atribuído a um dado operador.

Uma BEM, de acordo com a CEPT [5], é, na sua asserção original, “*an emission mask that is defined, as a function of frequency, relative to the edge of a block of spectrum that is licensed to an operator. It consists of in-block and out-of-block components, which specify the permitted emission levels over frequencies inside and outside the licensed block of spectrum respectively. The out-of-block component of the BEM itself consists of a baseline level and, where applicable, intermediate (transition) levels, which describe the transition from the in-block level to the base-line level as a function of frequency*”.

De um modo genérico, a BEM assume a representação conceptual simplificada da Fig. 2-1

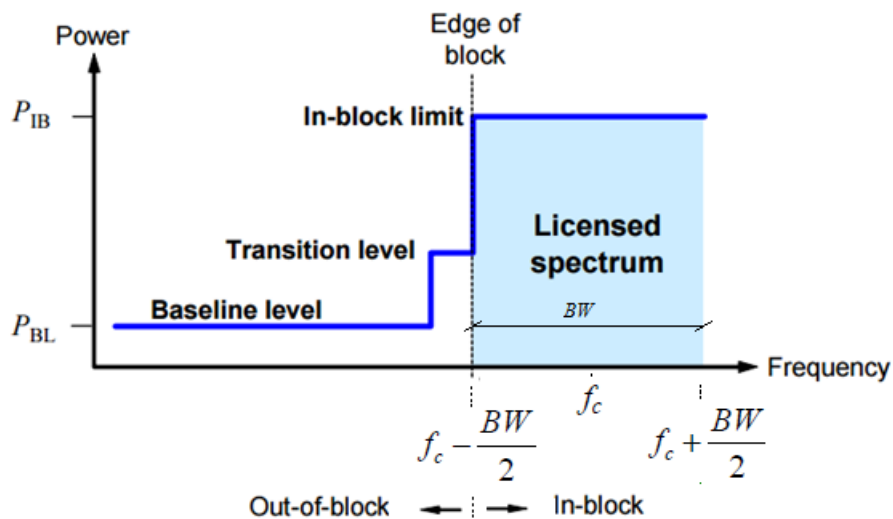


Fig. 2-1 - Representação genérica de uma BEM  
(Fonte: Report 131 da CEPT [9])

Legenda:

$BW$ : largura de faixa do bloco de espectro atribuído, correspondente à extensão da região *in-block*

$f_c$ : frequência central do bloco de espectro

$f_c - \frac{BW}{2}$ : limite inferior do bloco de espectro

$f_c + \frac{BW}{2}$ : limite superior do bloco de espectro

$P_{IB}$ : limiar de potência *in-block*

$P_{BL}$ : limiar de potência *out-of-block*



Neste capítulo, focalizar-nos-emos no estudo da BEM para a faixa dos 700 MHz, definida ao abrigo da Decisão ECC(15)01 [5], decorrente do Relatório CEPT Report 53 [21], a qual não foi ainda implementada em Portugal, uma vez que não se encontram ainda fixados os termos de utilização do LTE700.

Como tal, a proposta de alteração resultante deste estudo terá por base a BEM adotada para a faixa dos 800 MHz, mas que é em tudo semelhante à dos 700 MHz, apresentando ligeiras diferenças relativamente aos limiares considerados e outras restrições, facilitando a comparação com outros sinais fornecidos por um organismo regulador europeu congénere, para a execução deste estudo, adquiridos a partir de registos espectrais de emissões LTE800 reais, em utilização no espaço europeu.

É ainda de realçar que, dado o conceito genérico de *Block Edge Mask* poder ser aplicado a diversas faixas de frequência e a diferentes serviços de radiocomunicações, a utilização, em concreto, de duas faixas de frequência distintas neste documento, o LTE700 para o estudo da máscara e o LTE800 para o estudo da proposta de alteração à recomendação [6], em nada invalida as conclusões e a proposta que daqui resultam, dado que, após a sua definição para a faixa de frequência considerada e tendo em conta os constrangimentos próprios, o modo de aplicação é semelhante e compatível.

## 2.2 ECC REC(11)06

A CEPT (*European Conference of Postal and Telecommunications Administrations*), organização europeia da qual fazem parte 48 países, tem como objetivo o fortalecimento das relações entre os países membros, promover a cooperação e contribuir para a criação de um mercado dinâmico no campo das comunicações eletrónicas e postais europeias [10].

Nas suas atribuições estão, entre outras, o estudo de regulamentação da área no contexto Europeu; promover a harmonização Europeia do espectro radioelétrico; cooperar com a Comissão Europeia (CE) e desenvolver, adotar e promover propostas

comuns junto da União Internacional de Telecomunicações (UIT), ou na sua designação anglo-saxónica, *International Telecommunication Union* (ITU).

A CEPT está dividida em diferentes comités, dos quais, um deles, o *Electronic Communications Committee* (ECC) [11], é o responsável pela regulação e regulamentação das comunicações eletrónicas, e cujo objetivo central consiste em harmonizar o uso eficiente do espectro radioelétrico, das órbitas dos satélites e dos recursos de numeração europeus.

Por sua vez, o ECC está subdividido em diferentes grupos de trabalho. De entre eles, o *Working Group Frequency Management* (WG FM) [12] tem a seu cargo as questões de gestão e harmonização do espectro radioelétrico, sendo responsável pela preparação de decisões, recomendações e relatórios, que resultam, em geral, do trabalho desenvolvido por subgrupos específicos dedicados ao estudo mais detalhado de matérias e assuntos considerados relevantes, por indicação do WG FM. No âmbito das atividades promovidas por estas subestruturas, são também produzidas versões *draft* de documentos a submeter a instâncias superiores.

Em particular, no perfil de atribuições do subgrupo FM PT 22 – *Monitoring and Enforcement* [4], encontram-se, de entre outras, a investigação do uso do espectro radioelétrico para serviços existentes ou futuros; o desenvolvimento de procedimentos comuns de monitorização do espectro e da observância da conformidade da utilização do espectro com os regulamentos aplicáveis; assim como, o desenvolvimento de procedimentos técnicos de medição, em locais fixos destinados à monitorização do espectro, ou no exterior junto a equipamentos e/ou emissores radioelétricos.

Na sequência de um pedido emanado pelo WG FM ao FM PT 22, este último foi mandatado para desenvolver uma recomendação de medição/avaliação das BEM, tendo para tal estudado diferentes métodos aplicáveis à sua validação, que culminaram numa proposta de Recomendação, a ECC REC(11)06 - *Block Edge Mask Compliance Measurements for Base Stations*.

Na versão de outubro de 2013 da ECC REC(11)06, foram definidos os procedimentos de validação de dois tipos de *Block Edge Mask*:

- *Assessment of the Block Edge Mask for broadband wireless access (BWA) central stations (CS) within the frequency band 3400-3800 MHz using IEEE 802.16 transmitters;*
- *Assessment of the **Block Edge** for LTE base stations within the frequency band 791-821 MHz.*

Encontra-se atualmente para aprovação [13] o anexo correspondente ao procedimento de validação:

- *Assessment of the Block Edge for LTE base stations within the frequency band 758-788 MHz.*

## **2.3 LTE na faixa dos 700 MHz (LTE700)**

O LTE é a norma atual para as comunicações móveis de alta velocidade, sendo também vulgarmente conhecido por 4G, apesar desta última designação não se encontrar na terminologia do quadro de referência de sistemas e tecnologias aceite pela ITU. Ainda assim, a designação 4G é frequentemente usada na linguagem comum, e plena de intenção nas estratégias marketing dos operadores.

Não se pretende, nesta secção, fazer uma abordagem exaustiva do LTE, mas apenas relevar alguns dos conceitos chave com impacto direto no estudo de validação da BEM.

As designações LTE700 e LTE800 referem-se, respetivamente, às faixas de frequência em que o sistema funciona, não havendo do ponto de vista da tecnologia, nem da interface rádio, quaisquer diferenças.

<i>E-UTRA<sup>2</sup></i> <i>Band</i>	<i>Downlink (DL) [MHz]</i>		<i>Uplink (UL) [MHz]</i>		<i>Duplex Mode</i>	<i>Channel Bandwidth [MHz]</i>
...						
20	791	821	832	862	FDD	5, 10, 15 e 20
...						
28	758	803	703	748	FDD	3, 5, 10, 15 e 20
...						

Tabela 2-1 – Faixas de operação E-UTRA [17][18]

Um exemplo de um arranjo de frequências do LTE700 é o seguinte [5]:

- O tamanho dos blocos está organizado em múltiplos de 5 MHz;
- O *Duplex Mode* é FDD, com *Uplink* na faixa de frequências de 703 a 733 MHz e o *Downlink* na faixa de frequências dos 758 a 788 MHz;
- Permite a opção de *Supplemental Downlink (SDL)*, ou seja, o uso de canais adicionais para aumentar o débito binário no *Downlink*.

694-703	703-708	708-713	713-718	718-723	723-728	728-733	733-738	738-743	743-748	748-753	753-758	758-763	763-768	768-773	773-778	778-783	783-788	788-791
Guard band	Uplink						Gap	SDL (A)				Downlink					Guard band	
9 MHz	30 MHz (6 blocks of 5 MHz)						5 MHz	20 MHz (zero up to 4 blocks of 5 MHz)				30 MHz (6 blocks of 5 MHz)					3 MHz	

(A) SDL Option: "The zero or up to 4 blocks of 5 MHz approach" provides flexibility for combination with other options being considered in CEPT (see considering n).

Fig. 2-2 - Exemplo de um arranjo em frequência do LTE700  
(Fonte: CEPT, Decision(15)01 [5])

As BEM consideradas nesta recomendação [5] aplicam-se apenas à emissão da estação de base, ou seja, aplicam-se à faixa de frequências de *downlink*.

<sup>2</sup> E-UTRA : *Evolved Universal Terrestrial Radio Access*, é a designação do interface rádio do sistema LTE.

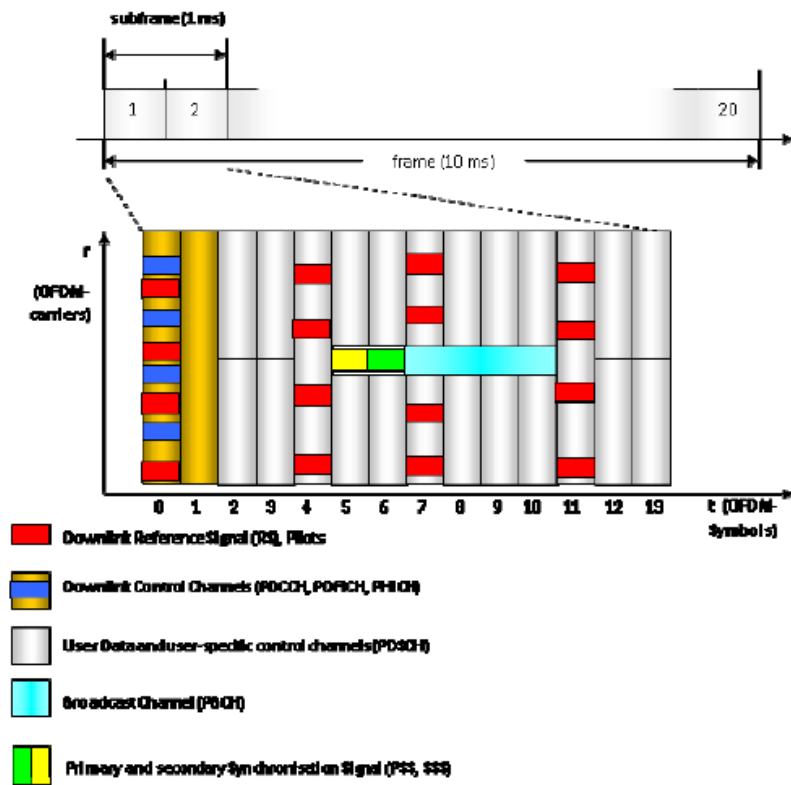


Fig. 2-3 - Estrutura de uma *frame* do LTE  
(Fonte: CEPT, REC(11)06 [5])

A estrutura de um sinal *downlink* LTE está organizada em *Resource Blocks* (RB), que são a unidade mais básica de recursos que podem ser afetados a um utilizador, e através deles que é enviada a informação. Cada RB consiste em 12 subportadoras OFDM (i.e., no domínio da frequência), agrupadas em *slots* temporais de 0,5 ms (a que correspondem 6 ou 7 símbolos OFDM). Além dos RB destinados a transportar tráfego, existem ainda canais para organizar esse tráfego e para permitir sincronizar o recetor e difundir informação [27] [28], vulgarmente conhecidos como pilotos, usados para controlo.

De entre os RB's com funções de controlo, encontra-se o PBCH (*Physical Broadcast Channel*), destinado à sincronização entre o equipamento móvel e a estação de base, tendo este canal a particularidade de ser sempre transmitido à mesma potência, daí poder ser usado como referência em medições.

O PBCH ocupa 6 RB, mais concretamente, as 72 subportadoras OFDM centrais, das 600 portadoras disponíveis do sinal OFDM, no caso de um sinal LTE de 10 MHz [19].

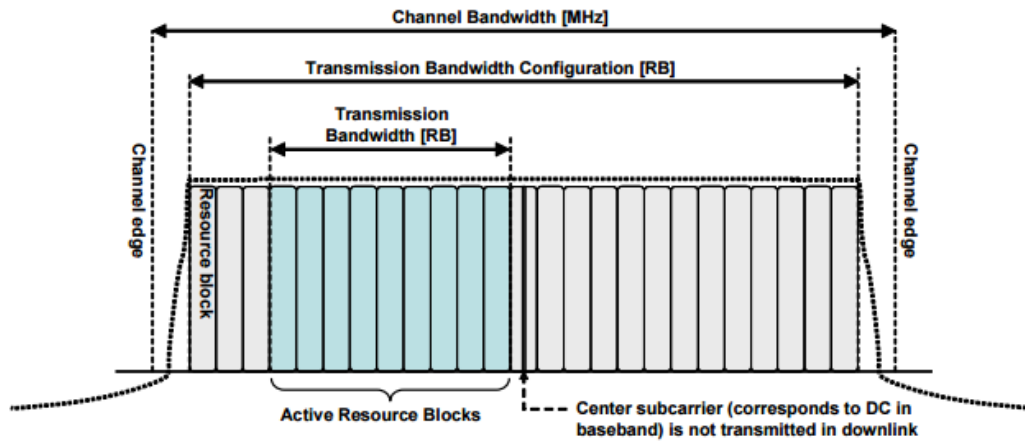


Fig. 2-4 – Definição da Largura de Banda do Canal e configuração da Largura de Banda da transmissão para uma portadora LTE (E-UTRA)  
(Fonte: ETSI TS 136 211 [20])

De modo a que o sistema LTE possa manter a sincronização e ser capaz de administrar os diferentes tipos de informações, que precisam ser transportados, entre a estação de base e o equipamento do utilizador, o sistema utiliza para o efeito uma trama específica e uma estrutura de sub-trama para o E-UTRA (i.e., a interface de ar para o LTE). A estrutura dessa trama origina um espectro típico, como o a seguir indicado, não estando no entanto permanentemente preenchido com tráfego, conforme representado na Fig. 2-5.

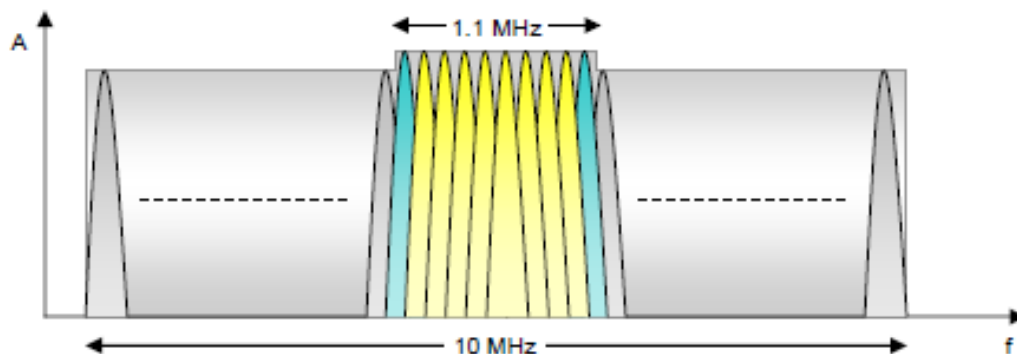


Fig. 2-5 - Espectro típico (Fonte: CEPT, REC(11)06 [5])

## 2.4 Definição da BEM

Em contraponto com o que foi adotado no caso da BEM para o LTE800, definida em relação ao valor de EIRP calculado, conforme detalhado em [3], no caso do LTE700 considera-se um valor máximo de potência *in-block*, sendo a restante máscara construída com os valores definidos na ECC Decision(15)01 [5].

De notar que os limites *out-of-block* são independentes da frequência central, ou seja, a BEM, aplicam-se a qualquer canal de *downlink*, desde que se encontrem no interior da faixa de frequências definida para a máscara em causa.

A máscara para o LTE700 é mais complexa do que para o LTE800, acima de tudo porque os níveis das emissões não desejadas dependem, não só das frequências relativas e absolutas, mas também da utilização assignada para a faixa de frequências em causa [13][14].

A BEM para o LTE700 tem por base os seguintes pressupostos:

<i>In-block</i>	Bloco para o qual é derivada a BEM
Nível de Referência	Espectro usado para MFCN <sup>3</sup> UL e DL (incluindo SDL <sup>4</sup> , se aplicável), para TDT <sup>5</sup> , para MFCN acima dos 790 MHz (UL e DL), para PPDR <sup>6</sup> ou M2M <sup>7</sup> UL ou DL
Região de Transição	A região de transição aplica-se dos 0 aos 10 MHz abaixo ou acima do bloco atribuído ao operador, exceto no <i>uplink</i> do MFCN (703-733 MHz), PPDR ou M2M

<sup>3</sup> *Mobile/fixed communications networks* (MFCN)

<sup>4</sup> *Supplemental Downlink* (SDL)

<sup>5</sup> *Digital Terrestrial Television* (DTT) em inglês

<sup>6</sup> *Public Protection and Disaster Relief* (PPDR)

<sup>7</sup> *Machine to Machine* (M2M)

Bandas de Guarda	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espectro entre as alocações TDT abaixo dos 694 MHz e o extremo inferior do <i>uplink</i> do MFCN (694-703 MHz);</li> <li>- Espectro entre o extremo superior do <i>downlink</i> do MFCN abaixo dos 788 MHz e o extremo inferior do <i>downlink</i> do MFCN acima dos 790 MHz (se aplicável) (788-791 MHz).</li> </ul> <p>No caso de sobreposição entre as regiões de transição e as bandas de guarda, usa-se o limite de potência da região de transição. Quando o espectro é usado para PPDR ou M2M, são usados os limites de potência da região de transição ou de referência</p>
<i>Duplex Gap</i>	<p>Espectro do <i>Duplex Gap</i> FDD que não é usado pelo SDL, PPDR ou M2M.</p> <p>No caso de sobreposição entre as regiões de transição e o <i>Duplex Gap</i> FDD não usado pelo SDL, PPDR ou M2M, são usados os limites de potência da região de transição</p>

Tabela 2-2 – Elementos constituintes da BEM de uma estação de base no LTE700 [5] [13]

A máxima potência *in-block* é de 64 dBm por antena, para uma largura de banda de referência de 5 MHz [13], no entanto, a decisão de 6 de maio [2] refere este valor como referência e não como obrigatório.

Os limites de referência são os seguintes:

<i>Frequency range</i>	<i>Bandwidth of protected block</i>	<i>Maximum mean e.i.r.p.</i>	<i>Reference bandwidth</i>
<i>DTT frequencies below 694 MHz</i>	8 MHz	-23 dBm per cell <sup>(1)</sup>	8 MHz
<i>Uplink frequencies in the range 698-743 MHz <sup>(2)</sup></i>	≥ 5 MHz	-50 dBm per cell <sup>(1)</sup>	5 MHz
	3 MHz	-52 dBm per cell <sup>(1)</sup>	3 MHz <sup>(2)</sup>
	≤ 3 MHz	-64 dBm per cell <sup>(1)</sup>	200 kHz <sup>(2)</sup>
<i>Uplink frequencies in the range 832-862 MHz</i>	≥ 5 MHz	-49 dBm per cell <sup>(1)</sup>	5 MHz
<i>Downlink frequencies in the range 738-791 MHz</i>	≥ 5 MHz	16 dBm per antenna	5 MHz
	3 MHz	14 dBm per antenna	3 MHz
	< 3 MHz	2 dBm per antenna	200 kHz
<i>Downlink frequencies in the range 791-821 MHz</i>	≥ 5 MHz	16 dBm per antenna	5 MHz

(1) In a multi sector site “cell” refers to one of the sectors.

(2) Administrations may select a measurement bandwidth of 3 MHz or 200 kHz for protection of block size 3 MHz depending on national options implemented.

Tabela 2-3 - Requisitos de referência para as estações de base do LTE700



Os limites para as faixas de frequência de transição:

<i>Frequency range</i>	<i>Maximum mean e.i.r.p.</i>	<i>Reference bandwidth</i>
<i>–10 to –5 MHz from lower block edge</i>	<i>18 dBm per antenna</i>	<i>5 MHz</i>
<i>–5 to 0 MHz from lower block edge</i>	<i>22 dBm per antenna</i>	<i>5 MHz</i>
<i>0 to +5 MHz from upper block edge</i>	<i>22 dBm per antenna</i>	<i>5 MHz</i>
<i>+5 to +10 MHz from upper block edge</i>	<i>18 dBm per antenna</i>	<i>5 MHz</i>

Tabela 2-4 - Requisitos de transição para as estações de base do LTE700 na faixa dos 733-788 MHz

<i>Frequency range</i>	<i>Maximum mean e.i.r.p.</i>	<i>Reference bandwidth</i>
<i>791-796 MHz for block with upper edge at 788 MHz</i>	<i>19 dBm per antenna</i>	<i>5 MHz</i>
<i>791-796 MHz for block with upper edge at 783 MHz</i>	<i>17 dBm per antenna</i>	<i>5 MHz</i>
<i>796-801 MHz for block with upper edge at 788 MHz</i>	<i>17 dBm per antenna</i>	<i>5 MHz</i>
<i>788-791 MHz for block with upper edge at 788 MHz</i>	<i>21 dBm per antenna</i>	<i>3 MHz</i>
<i>788-791 MHz for block with upper edge at 783 MHz</i>	<i>16 dBm per antenna</i>	<i>3 MHz</i>
<i>788-791 MHz for block with upper edge at 788 MHz for protection of systems with bandwidth &lt; 3 MHz</i>	<i>11 dBm per antenna</i>	<i>200 kHz</i>
<i>788-791 MHz for block with upper edge at 783 MHz for protection of systems with bandwidth &lt; 3 MHz</i>	<i>4 dBm per antenna</i>	<i>200 kHz</i>

Tabela 2-5 - Requisitos de transição para as estações de base do LTE700 acima dos 788 MHz

Os limites para o Duplex Gap dependo do uso dado a este intervalo

<i>Frequency range</i>	<i>Maximum mean e.i.r.p.</i>	<i>Reference bandwidth</i>
<i>-10 to 0 MHz offset from DL lower band edge or lower edge of the lowest SDL block, but above uplink upper band edge</i>	<i>16 dBm per antenna</i>	<i>5 MHz</i>
<i>More than 10 MHz offset from DL lower band edge or lower edge of the lowest SDL block, but above uplink upper band edge</i>	<i>-4 dBm per antenna</i>	<i>5 MHz</i>

Tabela 2-6 - Requisitos para as estações de base do LTE700 para a parte do Duplex Gap FDD não utilizados pelos SDL, PPDR ou M2M

<i>Frequency range</i>	<i>Maximum mean out-of-block e.i.r.p.</i>	<i>Reference bandwidth</i>
<i>Spectrum between broadcasting band edge and FDD uplink lower band edge (694-703 MHz)</i>	<i>-32 dBm per cell <sup>(1)</sup></i>	<i>1 MHz</i>
<i>Spectrum between downlink upper band edge and downlink of 800 MHz MFCN (788-791 MHz)</i>	<i>14 dBm per antenna</i>	<i>3 MHz</i>

(1) In a multi sector site "cell" refers to one of the sectors.

Tabela 2-7 - Requisitos para as estações de base do LTE700 para o espectro das bandas de guarda não usadas pelos PPDR ou M2M

A Fig. 2.6 ilustra um exemplo de construção de uma máscara BEM, aplicável à emissão LTE FDD de uma estação de base FDD, com canal de 5 MHz, no segundo bloco (763-768 MHz). Neste exemplo [13], assumiu-se que o *Duplex Gap* é usado por um SDL, mas não por PPDR ou M2M, e que a estação base LTE dispõe de uma antena por setor.

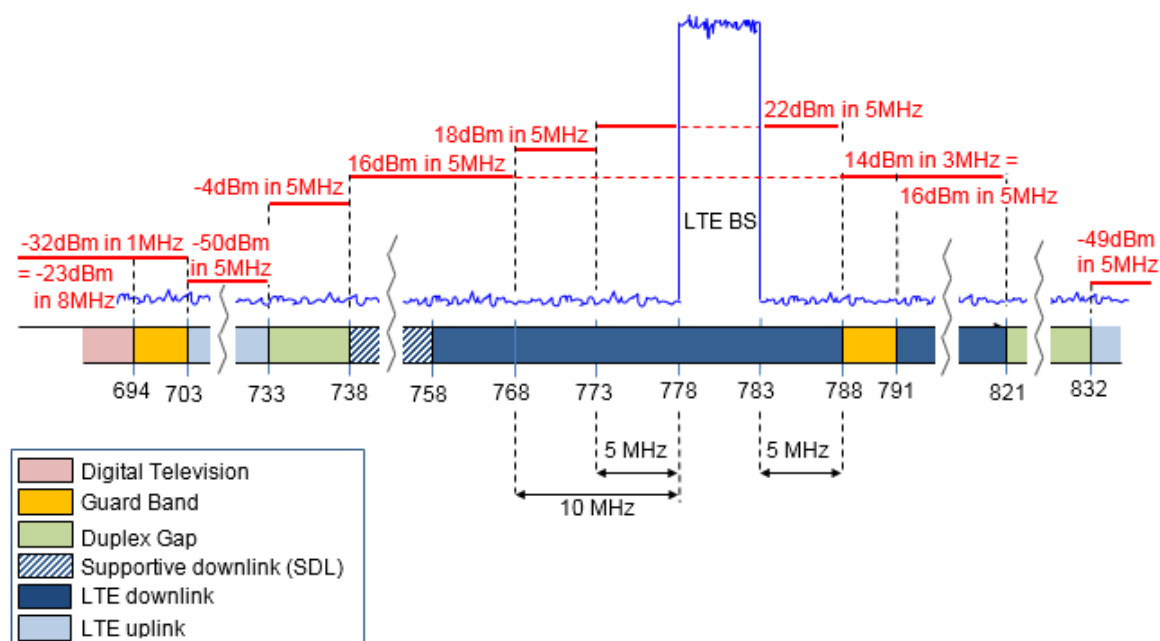


Fig. 2-6 – Exemplo de BEM para uma EB do LTE700, de acordo com a Decisão(15)01 [6] [13]

Faixa de Frequência	p.i.r.e. máxima média	Tabela	Obs.
Até 694 [MHz]	-23 dBm em 8 MHz	Tabela 2-3	Para proteção da TDT abaixo dos 694 MHz
694-703 MHz	-32 dBm em 1 MHz ( $\approx$ -23 dBm em 8 MHz)	Tabela 2-7	Banda de guarda
703-733 MHz	-50 dBm em 5 MHz	Tabela 2-3	Valor para faixa 698-743 MHz
733-738 MHz	-4 dBm em 5 MHz	Tabela 2-6	Parte da banda de guarda não usada pelo SDL
738-768 MHz	16 dBm em 5 MHz	Tabela 2-3	Requisito geral
768-773 MHz	18 dBm em 5 MHz	Tabela 2-4	Limite da bande de transição -10 a -5 MHz
773-778 MHz	22 dBm em 5 MHz	Tabela 2-4	-5 a 0 MHz
778-783 MHz	64 dBm em 5 MHz	-----	Valor máximo definido
783-788 MHz	22 dBm em 5 MHz	Tabela 2-4	0 a -5 MHz
788-791 MHz	14 dBm em 3 MHz	Tabela 2-7	Banda de guarda
791-821 MHz	16 dBm em 5 MHz ( $\approx$ 14 dBm em 3 MHz)	Tabela 2-3	Valor para faixa 791-821 MHz
821-832 MHz	??	??	Não há valores definidos para esta faixa de frequências
Acima dos 832 MHz	-49 dBm em 5 MHz	Tabela 2-3	Já referente ao <i>Uplink</i>

Tabela 2-8 – Tabela auxiliar para construção da BEM.

Resulta, porém, evidente que os valores indicados na Decisão (15)01 [5] deixam lugar a algumas indefinições e ambiguidades, sendo tal referido na proposta de atualização da Recomendação [6]. Neste exemplo, não se encontram limites na faixa dos 821 – 832 MHz, no entanto, para a faixa dos 788 – 791 MHz, é possível encontrar dois limites distintos. Na Tabela 2-5, de 16 dBm em 3 MHz, e, na Tabela 2-7, de 14 dBm em 3 MHz, usando-se, neste caso, o valor mais restritivo.

## 2.5 Processo de validação da BEM

O procedimento de validação da BEM para estações de base LTE, na faixa dos 700 MHz (LTE700), encontra-se descrito no documento do subgrupo FM PT22 [13], pretendendo-se que passe a estar incluído no futuro anexo 4 da recomendação ECC REC(11)06 [6], sendo os princípios de medição e validação idênticos aos descritos no anexo 3 da referida recomendação, estes últimos aplicáveis a estações de base LTE a operar noutras faixas de frequências, desde que os conceitos de BEM respetivos sejam iguais, o que acontece neste caso.

### 2.5.1 Processo de decisão do método de validação da BEM

A recomendação ECC REC(11)06 [6] identifica as seguintes três abordagens:

1. Medição de radiação (“*off-air*”), em condições normais de operacionalidade da estação base de LTE;
2. Medições conduzidas, em condições normais de operacionalidade da estação base de LTE;
3. Medições conduzidas, de acordo com a ETSI EN 301908-14 [16], com a estação de base LTE a operar em modo de teste devidamente previsto e definido.

O método a ser usado na validação da BEM deverá ser escolhido de acordo com as condições encontradas em cada local, disponibilidade do operador em permitir o acesso à sua estação de base, necessidade de efetuar medições sem o conhecimento do operador. Assim, a aplicação do método pode ser, sumariamente, descrita pelo seguinte fluxo de decisão:

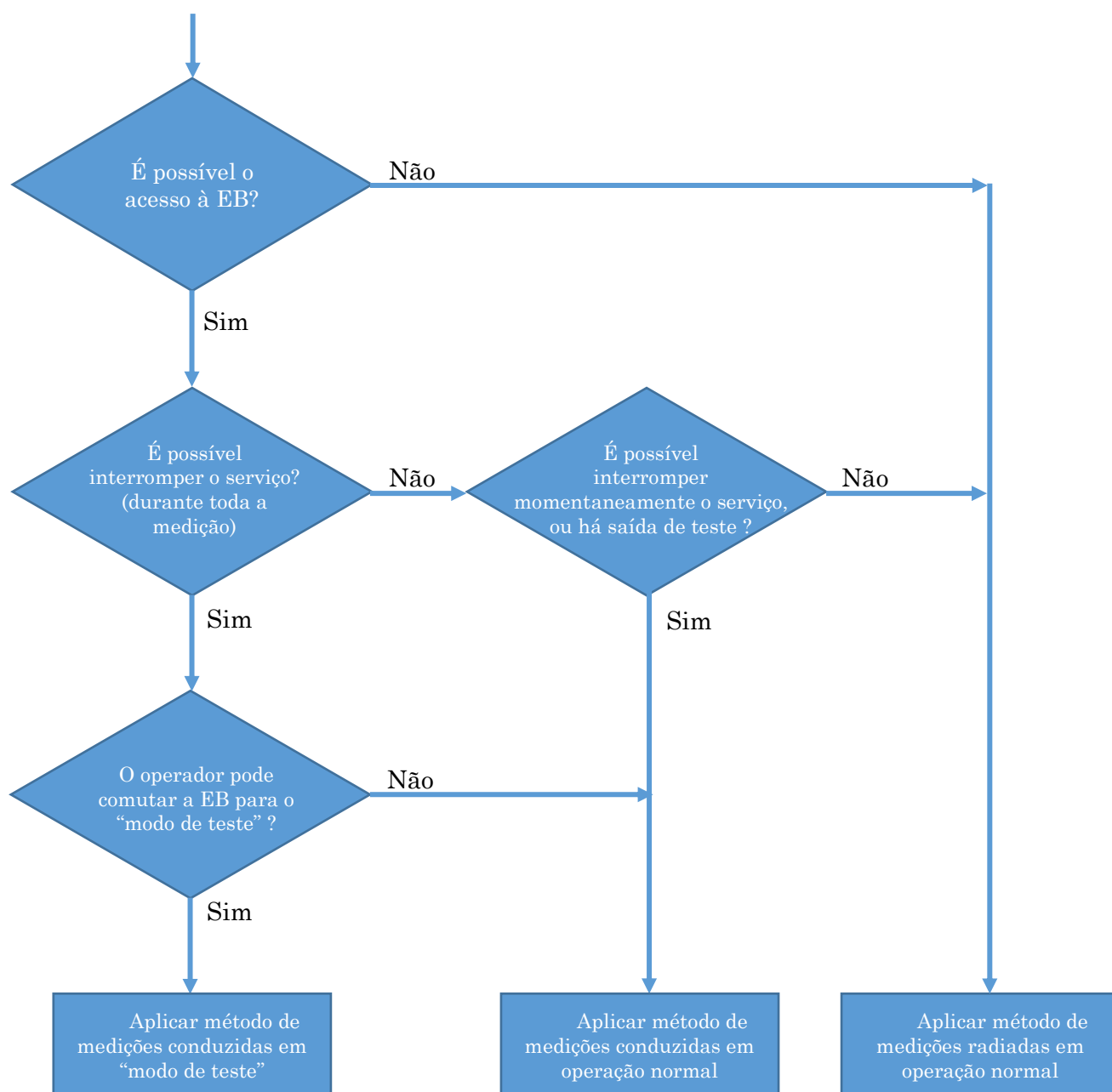


Fig. 2-7 – Processo de aplicação do método de validação da BEM

Neste processo de decisão importa realçar os seguintes constrangimentos:

- Acesso à estação de base: a possibilidade de acesso direto à estação de base do operador possibilitará a execução da validação da BEM através de medições conduzidas, no entanto, a sua impossibilidade obriga, de imediato, a que a validação tenha que ser efetuada com recurso a medições radiadas.
- Interrupção do serviço durante a execução das medições: este cenário permitirá a aplicação do procedimento de validação através de medições conduzidas, de acordo com a ETSI EN 301908-14, desde que a estação de base suporte, pelo menos, um dos modos de teste definidos na referida norma do ETSI ou, em alternativa, recorrer ao procedimento de validação através de medições conduzidas, em condições normais de operacionalidade da estação base de LTE. Genericamente, nos casos em que a estação de base se encontre em pleno funcionamento, a sua interrupção será passível de causar degradação dos níveis de serviço que são disponibilizados aos utilizadores, o que poderá não ser do agrado do operador.
- Interrupção do serviço por um curto período: esta situação será considerada nos casos em que a interrupção do serviço durante todo o período previsto e necessário à execução das medições não é viável, mas sendo toleradas breves interrupções, pelo período estritamente necessário à introdução (intercalação e conexão) dos equipamentos de medição. Desta forma, a BEM pode ser validada através de medições conduzidas, em condições normais de operacionalidade da estação base de LTE. Na sua impossibilidade, a BEM terá que ser verificada recorrendo a medições radiadas.

### 2.5.2 Aplicação da BEM

Apesar da BEM para o LTE700 não depender do valor de PIRE, como acontece com a BEM para o LTE800, é, ainda assim, necessário estimar ou medir este valor, de modo a verificar se são cumpridos os respetivos limites impostos.

Para tal, a Recomendação [5] indica os métodos de cálculo, detalhados em seguida, para as situações em que as medições são radiadas ou conduzidas.

### 2.5.2.1 Medições Radiadas

No caso de medições radiadas, sempre que não se possa avaliar, com exatidão, a carga de tráfego, no momento, ou se não for possível colocar a estação de base num modo de teste, que permita simular a sua carga máxima (pior situação), terão que ser extrapoladas tais condições com recurso ao PBCH.

Tal como descrito no ponto 2.3, o PBCH é transmitido sempre à mesma potência, podendo ser utilizado para a extrapolação de pior caso, assumindo que todas as 600 subportadoras, disponíveis num sinal OFDM com uma largura de banda de 10 MHz, evidenciam o mesmo valor de potência.

Medindo o nível de potência do PBCH ( $P_{PBCH}$ ), é então possível extrapolar a potência máxima ( $P_{max}$ ) do sinal OFDM, recorrendo para o efeito à seguinte equação:

$$P_{max}[dBm] = P_{PBCH}[dBm] + 10 \log_{10} \left( \frac{600}{72} \right) = P_{PBCH}[dBm] + 9,2 \text{ dB} \quad (2.1)$$

O valor de PIRE é estimado através a partir da equação 2.3, sendo que a atenuação em espaço livre, em função da frequência e da distância, é dada pela fórmula de Friis (equação 2.2).

$$L_{friis}[dB] = 32,4 + 20 \log_{10}(freq [MHz]) + 20 \log_{10}(dist [km]) \quad (2.2)$$

Deste modo,

$$PIRE [dBm] = P_{max} + L_{cabo} + L_{conectores} - G_{antena} + L_{friis} \quad (2.3)$$

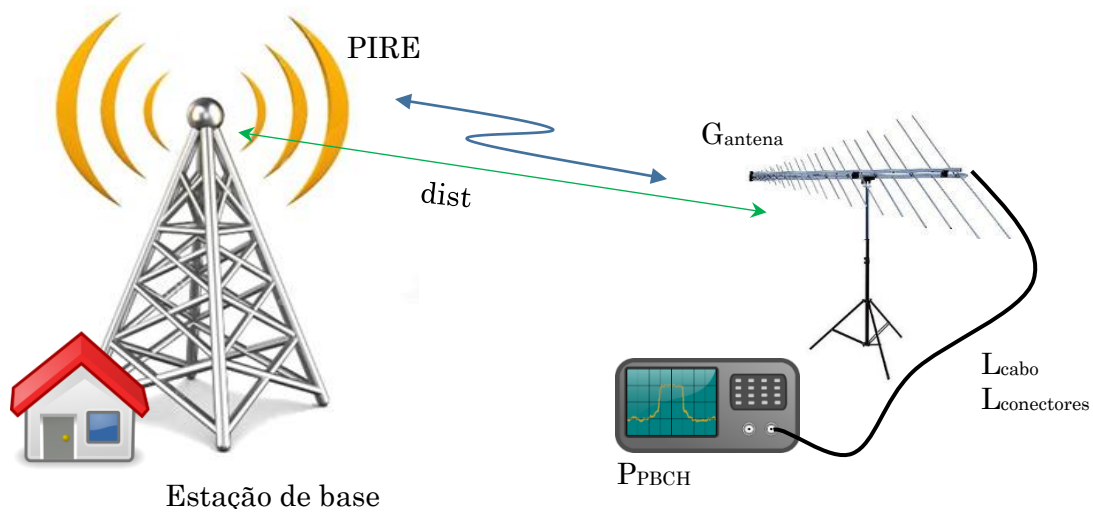


Fig. 2-8 – Diagrama exemplificativo do cálculo da PIRE em medições radiadas

Para a situação ilustrada na Fig. 2-8, o cálculo do valor estimado de PIRE, assumindo que a distância à qual se conseguiu colocar a antena dentro do lóbulo principal de radiação é de 750 metros (*dist*) da estação base, e que a estação está a operar na faixa de frequências de 778-783 MHz, e ainda que a atenuação do cabo e dos conectores é de 1,5 dB e que, no analisador de espectros, é medido um nível de potência do PBCH de -20,4 dBm, resulta que:

$$P_{max}[dBm] = -20,4 + 9,2 = -11,2 \text{ dBm} \quad (2.4)$$

Considerando a frequência central: 780,5 MHz, é possível calcular a atenuação em espaço livre:

$$L_{friis}[dB] = 32,4 + 20\log_{10}(780,5) + 20\log_{10}(0,75) = 87,7 \text{ dB} \quad (2.5)$$

Assim, a PIRE máxima estimada será:

$$PIRE [dBm] = -11,2 + 1,5 - 14 + 87,7 = 58,9 \text{ dBm} \quad (2.6)$$

### 2.5.2.2 Medições Conduzidas

Nas medições conduzidas, o valor de PIRE calculado será mais exato do que no caso das medições radiadas, dado que a medida é imediatamente obtida à saída do emissor da estação, e a atenuação do cabo, principalmente, dos conectores e o ganho da antena, para a frequência em causa, são conhecidos com muita precisão.



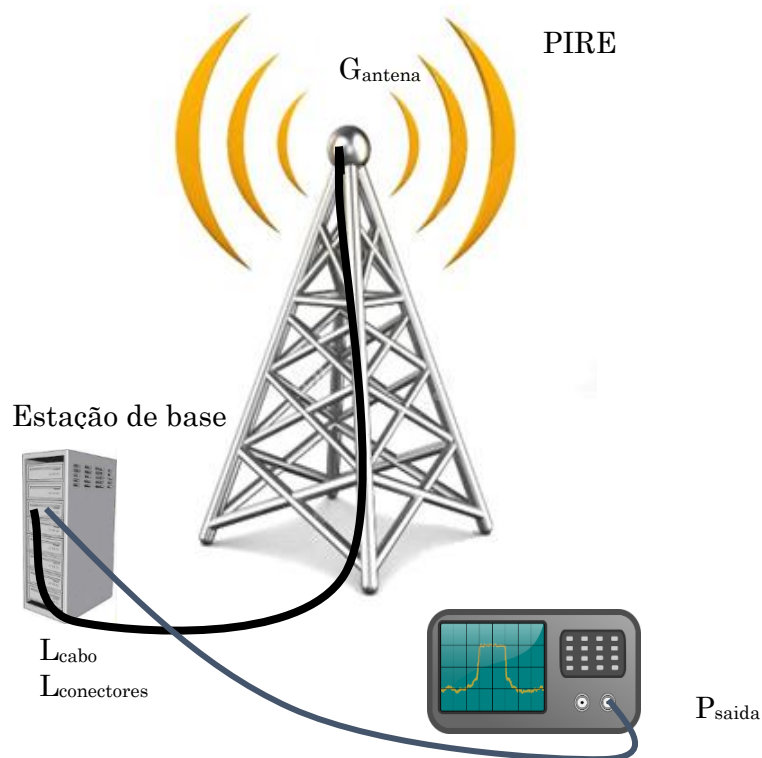


Fig. 2-9 - Diagrama exemplificativo do cálculo da PIRE em medições conduzidas

Nestas circunstâncias, o valor da PIRE é calculado do seguinte modo:

$$PIRE [dBm] = P_{saida} - L_{cabo} - L_{conectores} + G_{antena} \quad (2.7)$$

### 2.5.2.3 Procedimento de Medição

Tal como é indicado na recomendação ECC REC(11)05 [5], o primeiro passo é de grande importância e destina-se a selecionar o melhor local de medição, ou seja, encontrar o local em que obtenha o nível de sinal mais elevado, mas que esteja, simultaneamente, na zona de campo distante. Caso se conheça, com precisão, o diagrama de radiação da antena da estação base em avaliação, e desde que se disponha de ferramentas informáticas de planificação de cobertura, é possível efetuar, previamente à deslocação, um estudo dos locais mais favoráveis para a medição.

O posicionamento da antena de medição deverá ter em atenção, não só a linha de vista com a antena de emissão e a direção provável do máximo de radiação, mas também

a influência de outros emissores na vizinhança, com níveis de potência consideráveis, tentando, tanto quanto possível, que estes fiquem nas costas da antena recetora. Daqui resulta que a antena usada na receção deverá garantir boas características de diretividade, e uma elevada relação frente/trás.

Além disso, e tal como é referido em [3], os demais requisitos para estas medições estão relacionados com a gama dinâmica, que deve ser maximizada, e com a eliminação da influência de outras emissões, situação habitual quando se fazem medições radiadas.

Tomemos como exemplo o caso da BEM para o LTE700, em que podemos ter um sinal com uma potência máxima *in-block* recomendada de até 64 dBm, em 5MHz, e uma BEM que atinge -50 dBm, em 5 MHz. Neste caso, seria necessária uma gama dinâmica superior a 114 dB. A impossibilidade de garantir esta gama dinâmica limitaria ou tornaria impraticável a medição.

Nas medições radiadas (*off-air*), é muito difícil, ou mesmo impossível, obter uma gama dinâmica desta ordem de grandeza, o que implica que parte da BEM fique abaixo do patamar de ruído. Por outro lado, podem existir emissões de outras estações base passíveis de falsear os valores na faixa de frequência em avaliação, contabilizando-se inadvertidamente violações inexistentes da validação da BEM.

Outra condicionante neste tipo de medições resulta do facto das estações de base habitualmente não funcionarem com um emissor isoladamente, coexistindo mais emissores na mesma torre, destinados a implementar uma cobertura setorizada, de modo a maximizar o número de utilizadores. Adicionalmente, os diagramas de radiação das antenas não são perfeitos, podendo existir lóbulos laterais passíveis de influenciar as medições inerentes à validação da BEM de uma emissão que coexista no mesmo local. Para garantir as devidas condições e a correta medição, torna-se necessário estudar e compreender a influência destas emissões, no local em que decorre a avaliação [3].

Como tal, é necessário que os lóbulos laterais de radiação das outras emissões de LTE estejam, pelo menos, 10 dB abaixo dos lóbulos laterais da emissão em avaliação. De igual modo, outros sinais devem estar, pelo menos, 6 dB abaixo dos limites da BEM, em cada faixa de frequência da mesma [3].

Por outro lado, uma forma de melhorar a gama dinâmica da medição é usar antenas diretivas, devidamente posicionadas, de modo a minimizar a influência de outros sinais.

### 2.5.2.3.1 Medição Radiada

Este método é o menos preciso e o mais difícil de executar, em virtude dos diversos constrangimentos associados, mas poderá ser o único viável, sempre que não seja possível o acesso à estação de base do emissor, ou quando se pretenda validar a BEM sem o conhecimento do operador.

Perante as dificuldades inerentes à identificação do melhor local para a realização de medições, é desejável que se faça uma sondagem prévia, através de medições exploratórias, na envolvente da área previamente selecionada. Para o efeito, poderá usar-se uma antena omnidirecional, instalada numa viatura, para, de forma mais rápida e expedita, se conseguir avaliar uma área considerável, sendo recomendada a configuração de parâmetros de medição do analisador de espectros [5] sumariada na Tabela 2-9.

Frequência Central	Frequência central da faixa de frequência da emissão de LTE
<i>Span</i>	Zero
<i>Resolution Bandwidth (RBW)</i>	1 MHz
<i>Detector</i>	<i>Max Peak</i>
<i>Trace</i>	<i>Clear Write</i>
<i>Sweep Time</i>	100 s

Tabela 2-9 – Parâmetros para medições de avaliação

Após a identificação de um local de medição que minimize todos os constrangimentos possíveis, é então montado o *setup* de medições, de acordo com o esquema da Fig. 2-10.

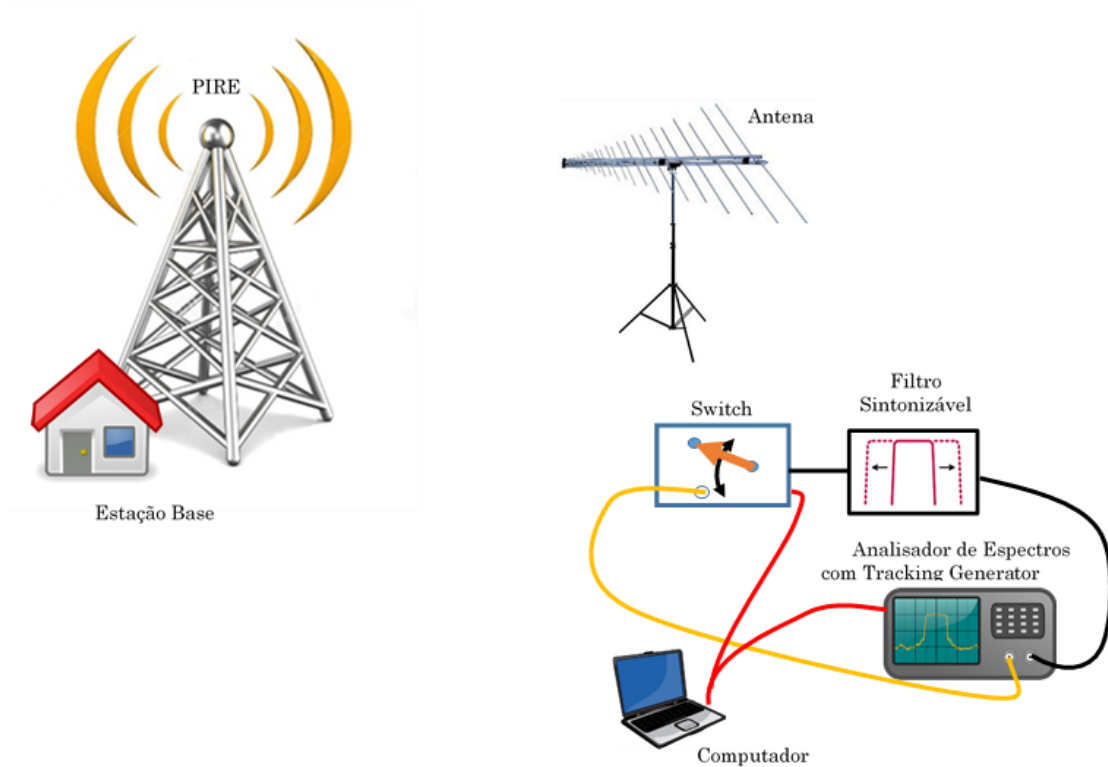


Fig. 2.10 – *Setup* para Medição Radiada

Neste *setup* de medições, é necessário uma antena diretiva e de elevado ganho, um *switch*, um filtro, um analisador de espectros, como recetor, com a funcionalidade de *tracking generator*, e um computador para controlar os equipamentos e todo o procedimento de medição.

De modo a evitar que o recetor seja afetado ou dessensibilizado por sinais fortes que possam existir nas imediações, usa-se um filtro do tipo passa-banda, fazendo-se adicionalmente o ajuste automático dos parâmetros do equipamento recetor, de modo a garantir que tal não aconteça.

No entanto, face ao procedimento aconselhado em [5], condicionado pela necessidade de se ter que realizar sucessivas medições para cada secção da BEM, é necessário efetuar o ajuste do filtro para cada uma delas.

No caso de não existirem sinais fortes adicionais, poderá ser usado um *notch-filter*, que será sintonizado para a frequência central da faixa de frequências a analisar, e

assim se manterá ao longo de todo o processo de medição. Por fim, será ainda aconselhável que o recetor tenha capacidade de atenuar automaticamente sinais fortes.

O *tracking generator* é usado para caracterizar a resposta em frequência do filtro introduzido, ligando-o à entrada do *setup* onde estaria conectada a antena. Deste modo, é possível obter a curva de resposta do filtro, recorrendo ao mesmo equipamento usado para a medição do sinal de LTE da estação base. Esta medição servirá posteriormente para reconstruir o espectro do sinal medido. Nas situações em que é usado um *notch-filter*, bastará uma única medição. No entanto, nos casos em que é usado um filtro sintonizável, deverá ser feita uma medição para cada uma das frequências sintonizadas.

Caso se use um analisador de espectros, ele deve ser configurado de acordo com a parametrização apresentada na Tabela 2-10.

<i>Span:</i>	<i>Zero</i>
<i>RBW:</i>	<i>100 kHz</i>
<i>VBW:</i>	<i>≥ 300 kHz</i>
<i>Detector:</i>	<i>RMS</i>
<i>Sweep time:</i>	<i>71.3 μs * horizontal display points</i>
<i>Trace:</i>	<i>MaxHold over 10 sweeps or more.</i>

Tabela 2-10 – Configuração do Analisador de Espectros para a validação da BEM

O valor do *sweep time* recomendado garante que cada *pixel* horizontal representa o valor RMS de um símbolo LTE, e a recolha de 10 *sweeps* no modo *MaxHold* visa assegurar a recolha de, pelo menos, 30 *frames* LTE, de forma a obter o valor máximo de cada um dos símbolos.

Se for usado um recetor de radiocomunicações, em alternativa ao analisador de espectros, a configuração passará a ser a que é indicada na Tabela 2-11.

<i>IF bandwidth:</i>	<i>100 kHz</i>
<i>Detector:</i>	<i>RMS</i>
<i>Measurement time:</i>	<i>400 ms</i>
<i>Store the maximum measured RMS level.</i>	

Tabela 2-11 – Configuração do Recetor de Radiocomunicações para a validação da BEM

Para o valor de largura de banda especificado de 100 kHz, é necessário que a medição seja feita em passos de 50 kHz (ou seja, metade do valor da largura de banda

definido). A necessidade de progredir em passos de 50 kHz, ao longo de toda a BEM que está a ser avaliada, torna o processo muito demorado e fastidioso, além de que, estando a estação base a funcionar em condições normais, o sinal estará sempre a sofrer variações dinâmicas, em função das exigências variáveis de tráfego, que resultam da atividade dos utilizadores da rede a cada instante. O processo de avaliação da máscara BEM pode conduzir a resultados diferentes consoante a altura do dia, sendo este fator mais um constrangimento a ter em conta. Como tal, é aconselhável efetuar as medições na altura do dia em que se preveja maior carga de tráfego na célula, o que, por sua vez, pode ocorrer em horários distintos, consoante o tipo de atividade existente na zona (e.g., zona de escritórios *vs.* zona habitacional).

Além disso, deverá ainda ser medido o nível de ruído interno do equipamento recetor, terminando a sua entrada com uma carga de 50  $\Omega$ .

De modo a diminuir o tempo de medição e otimizar todo o processo, deverá ser utilizado um computador que controle todo o sistema e registe os valores medidos.

Finalmente, para se reconstruir todo o sinal da emissão LTE em avaliação e assim o poder sobrepor à máscara BEM adequada, todos os valores medidos terão que ser normalizados de acordo com a respetiva largura de banda de referência, obtendo-se um conjunto de valores médios de densidade de potência, resultando no gráfico da Fig. 2.11.

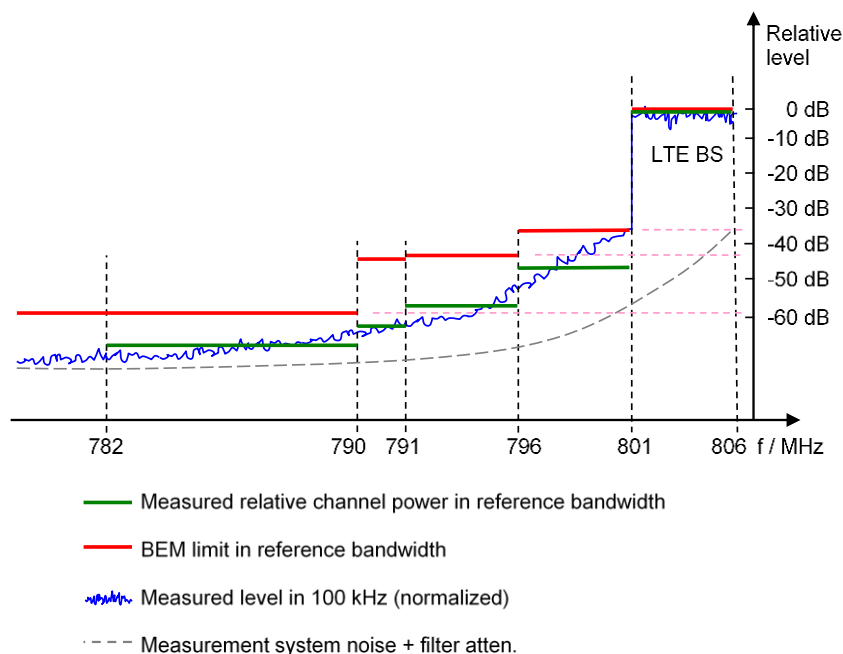


Fig. 2.11 – Exemplo de medição da BEM, para o caso do LTE800 [6]

A linha “*Measurement system noise + filter atten.*” deve ser considerada na representação gráfica de modo a evidenciar que se trata de um sinal LTE efetivamente oriundo de um emissor e não de ruído do próprio equipamento de medição.

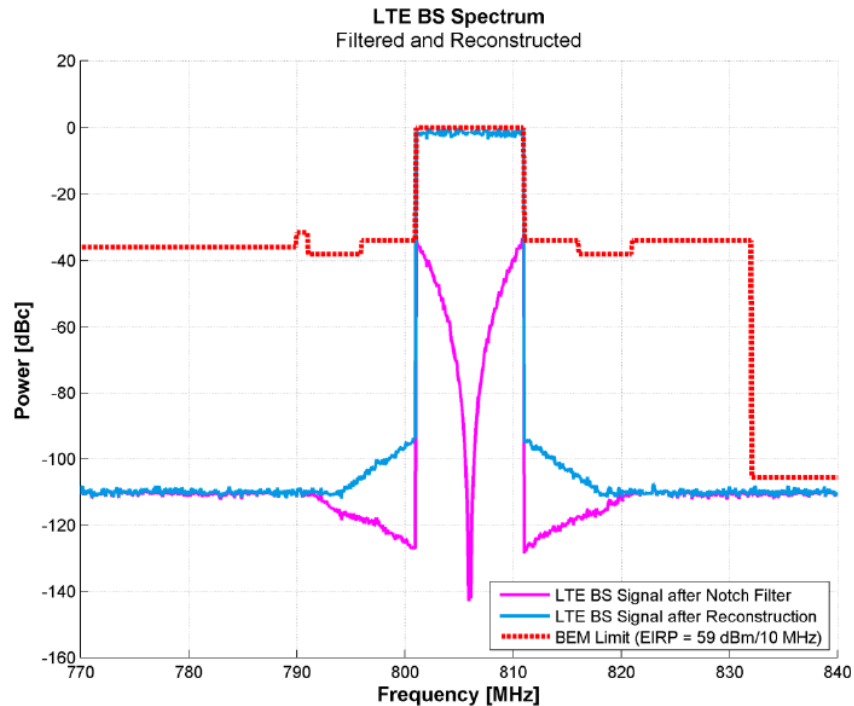


Fig. 2.12 – Exemplo de espectro de uma estação base de LTE reconstruído e comparado com a BEM aplicável [3].

#### 2.5.2.3.2 Medição Conduzida – Em Condições Normais de Funcionamento

Este método é mais preciso, uma vez que se eliminam todas as incertezas e constrangimentos associados a uma medição radiada (*off-air*), visto que a medição é efetuada imediatamente à saída do emissor, recorrendo-se habitualmente a uma derivação ou a uma sonda de RF calibrada. Assim, evita-se a interrupção do serviço que é disponibilizado pelo operador. Subsequentemente, bastará compensar (adicionar) os valores de atenuação e o ganho da antena, de forma a obter os valores necessários para a validação da BEM correspondente.

Nesta abordagem, cuja medição é realizada à saída do emissor, aconselha-se o uso de um atenuador a preceder o filtro. Ainda que daqui possa resultar alguma degradação do sinal útil a medir, garante-se a proteção do equipamento recetor perante sinais fortes.

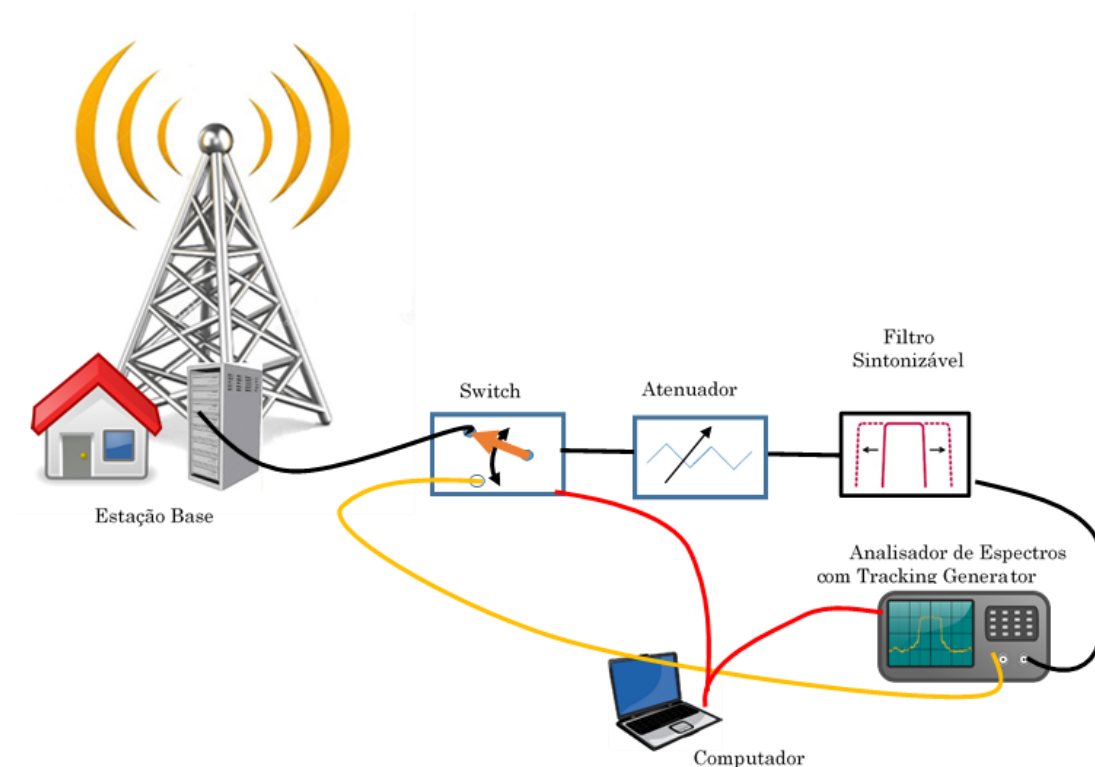


Fig. 2.13 - Setup de Medição para Medição Conduzida

### 2.5.2.3.3 Medição Conduzida – Utilização de Modos de Teste Normalizados

Neste método, a medição é também realizada à saída do emissor, forçando a sua operação num dos modos de teste definidos pela ETSI EN 301 908-14 [16], que proporcionam condições de funcionamento correspondentes a situações de carga máxima. Nestas circunstâncias, é possível avaliar, com precisão, a conformidade da emissão relativamente à BEM respetiva.

Não obstante todas as vantagens encontradas neste método, facilmente se percebe que será pouco utilizado, uma vez que obriga o operador a interromper o serviço durante todo o período necessário à realização das medições preconizadas.



### 2.5.3 Vantagens e desvantagens dos métodos de validação da BEM

A recomendação [6] condensa as principais vantagens e desvantagens de cada um dos métodos de medição/validação anteriormente apresentados, tendo por base a experiência dos reguladores dos diferentes países participantes no subgrupo do WGFM PT22.

	Vantagens	Desvantagens
Medição radiadas em condições normais de operação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode ser aplicado em qualquer altura, sem necessidade de envolver o operador;</li> <li>• Pode ser implementado sob condições normais de operação, sem interrupção do serviço;</li> <li>• Evita que o operador proceda a eventuais ajustes com o intuito de “falsear” o cumprimento da BEM.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obedece a uma série de requisitos que nem sempre são possíveis de cumprir;</li> <li>• Emissões fortes de outros emissores que a impossibilitem;</li> <li>• As incertezas associadas poderão ser superiores às encontradas nas medições conduzidas;</li> <li>• Pode negligenciar o efeito de eventuais componentes espectrais nas bandas laterais.</li> </ul>
Medições conduzidas em condições normais de operação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Há sempre nível de sinal disponível;</li> <li>• Não é influenciado pelos sinais provenientes de outros emissores;</li> <li>• A atenuação do cabo e o ganho de antena são conhecidos, o que permite reduzir a incerteza da medida;</li> <li>• O processo de validação é mais simples.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É necessário acordar e agendar com o operador um horário para as medições;</li> <li>• Na ausência de uma saída de RF para testes, é necessário interromper o serviço;</li> <li>• Pode negligenciar o efeito de eventuais componentes espectrais nas bandas laterais.</li> </ul>
Medições conduzidas utilizando modos de teste normalizados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O modo de teste força as emissões <i>out-of-block</i> ao máximo possível, o que pode não ocorrer em condições normais de operacionalidade;</li> <li>• A atenuação do cabo e o ganho de antena são conhecidos, o que permite minimizar a incerteza da medida;</li> <li>• Como o modo de teste se encontra pré-definido, é possível garantir a reprodutibilidade do método.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Há interrupção do serviço durante o processo de medição;</li> <li>• É necessário acordar e agendar com o operador um horário para as medições;</li> <li>• É necessário conhecer os procedimentos de configuração que colocam a estação de base em modo de teste.</li> </ul>

Tabela 2-12 - Vantagens e desvantagens dos métodos de validação da BEM [6]

PÁGINA EM BRANCO

### 3 Analisador de Espectros

Neste capítulo, dar-se-á uma breve panorâmica dos diferentes tipos de equipamentos de análise espectral, desde o mais básico e mais antigo, o analisador de espectros heteródino (*Spectrum Analyser* – SA), passando pelo analisador vetorial (*Vector Signal Analyser* – VSA), terminando com o analisador de espectros em tempo real (*Real Time Spectrum Analyser* – RTSA).

Complementarmente, vão ser analisadas algumas das características mais relevantes destes equipamentos de análise espectral, concretamente, a RBW (*Resolution Bandwidth*) e o tempo de varrimento (*Sweep Time*), entre outros [23], [32], [33], [34].

#### 3.1 Analisador de Espectros Super-Heteródino

O analisador de espectros é, numa definição simplificada, um instrumento de medida que decompõe uma forma de onda, entregue à sua entrada, nas componentes de frequência que a constituem, permitindo a sua visualização sob a forma de um gráfico espectral.

, Ao invés dos medidores de potência que efetuam a respetiva medição de potência integrada numa largura de banda especificada, normalmente grande, o SA permite discriminar qual ou quais as frequências presentes no sinal que está a ser medido, e assim visualizar, por exemplo, o efeito de uma modulação, a existência de harmónicas e outros sinais espúrios ou não essenciais, e não apenas a potência total confinada pelos

limites de frequência que delimitam a banda de passagem da sonda de medição do medidor de potência [23].

Na configuração super-heteródina, o sinal de entrada é multiplicado por uma onda sinusoidal, que oscila a uma frequência diferente da de entrada, de modo a converter o sinal de entrada para uma frequência mais baixa, sendo, posteriormente a esta conversão, filtrado e medido pelo detetor. O espectro é obtido à medida que decorre o varrimento da faixa de frequências selecionada, amostrando o sinal alvo de análise.

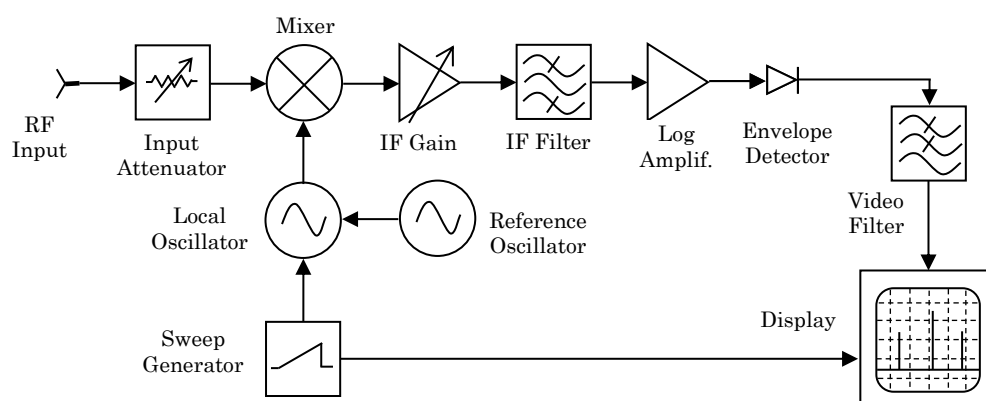


Fig. 3-1 – Diagrama de blocos de um analisador de espectros super-heteródino

### 3.1.1 Características relevantes de um analisador de espectros

#### 3.1.1.1 Faixa de Frequência

A faixa de frequências é uma das principais características de um analisador de espectros, dado que limita, de imediato, a gama de frequências que é possível medir e avaliar com recurso ao equipamento. Atualmente é possível encontrar equipamentos que permitam fazer a análise espectral desde 0 Hz (DC) até às dezenas de GHz. De realçar que a evolução tecnológica deste tipo de equipamentos tem sido rápida, podendo atualmente dispor-se de equipamentos que, com capacidades intrínsecas (*in-built*), atingem as dezenas de GHz, por si só, quando no passado tal só era possível, muitas das vezes, com a utilização de misturadores externos.

#### 3.1.1.2 Resolução em Frequência (RBW)

A menor resolução em frequência que o equipamento permite, depende da largura do menor filtro da frequência intermédia (IF) possível, identificado nos equipamentos

pela *Resolution BandWidth* (RBW). Este parâmetro determina a menor separação entre duas componentes espectrais próximas, ou seja, na prática, corresponde às duas “riscas” espectrais mais próximas que é possível visualizar separadamente. A largura do filtro de IF e a velocidade de varrimento (*Sweep Time*) estão inter-relacionadas, na medida em que, quanto mais estreita for a largura de faixa do filtro, mais lenta é a sua resposta temporal. Dito de outro modo, a velocidade de varrimento (*Sweep Time*) é inversamente proporcional à RBW. Em geral, os analisadores de espectro selecionam automaticamente a melhor velocidade de varrimento face ao RBW pretendido.

Uma outra característica destes filtros, a ter em conta, é a sua seletividade. Não só é importante a separação entre duas componentes espectrais próximas, mas também poder fazê-lo com sinais de amplitudes diferentes. Filtros analógicos possuem seletividades da ordem dos 12:1, enquanto que os digitais da ordem dos 5:1 [24].

### 3.1.1.3 Sensibilidade

Este parâmetro deriva diretamente das características físicas do equipamento, nomeadamente, do ruído térmico e dos seus componentes internos, tais como, amplificadores, filtros, etc., mas também da largura de banda do filtro de IF (RBW) e do atenuador. Quanto menor for o valor de RBW e do atenuador, menor será o nível de ruído do equipamento. A sensibilidade é, habitualmente, especificada, nos manuais técnicos dos equipamentos, pelo nível médio do ruído gerado (*Displayed Average Noise Level* – DANL) em dBm, para a menor RBW possível.

### 3.1.1.4 Relação entre faixa de frequência (*span*), velocidade de varrimento (*sweep time*) e resolução em frequência (RBW)

A velocidade de varrimento pode ser relacionada com a faixa de frequência alvo da medição, a velocidade de varrimento e com a resolução em frequência da seguinte forma:

$$T_{sweep} = k \frac{\Delta f}{B_{IF}^2} \quad (3.1) \quad \text{em que } k = \frac{T_{rise}}{B_{IF}} \quad (3.2)$$

Onde:  $T_{sweep}$  = tempo mínimo de varrimento em s

$k$  = fator de proporcionalidade em s

$\Delta f$  = faixa de frequência em Hz

$B_{IF}$  = RBW em Hz

$T_{rise}$  = Tempo de subida do filtro em s

Contudo, o filtro não é perfeito. Na verdade, não reage imediatamente, apresentando um atraso decorrente do tempo de subida. Por esse motivo, as medições não podem ser efetuadas instantaneamente, pelo que se deve medir com a velocidade de varrimento máxima aconselhada pelo equipamento, para assim se minimizarem os erros. Caso estas relações não se verifiquem, o analisador de espectros fica descalibrado, o que é normalmente indicado no visor do equipamento.

#### 3.1.1.5 Detetores

O detetor é o responsável pela conversão do sinal de IF no seu correspondente valor em cada uma das frequências, de modo a poder ser visualizado no ecrã do analisador de espectros. Como atualmente os analisadores de espectro possuem monitores digitais, esta conversão é efetuada através de um conversor analógico-digital (ADC), o que possibilita a implementação de diversos tipos de detetores.

Para cada ponto mostrado no ecrã do analisador de espectros, a que corresponde uma determinada frequência, o seu valor é calculado de acordo com o detetor selecionado. Os detetores mais habituais são o pico (*peak*), normalmente o pico positivo, a amostra (*sample*), o normal e a média (*average*).

Devido aos filtros e ao correspondente tempo de varrimento, durante o tempo que o sinal é amostrado, e memorizado, para cada um dos pontos, o sinal vai variar. É por este motivo que a seleção do detetor pode conduzir a resultados de medição com valores diferentes, conforme ilustrado na Fig. 3-2.

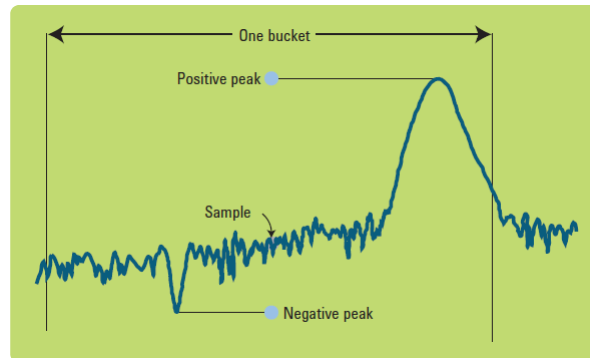


Fig. 3-2 – Detetores de pico e amostra [34]

O detetor de pico (positivo) vai identificar, durante o tempo de medição, o valor mais elevado da amostra de sinal, enquanto que o detetor de amostra vai retirar um dos valores da mesma, num mesmo ponto em todas as amostras, sendo bom para medir sinais do tipo do ruído.

O detetor normal vai ter em consideração o valor da amostra precedente, de acordo com um algoritmo próprio, em que no caso de encontrar um sinal semelhante a ruído irá dar alternativamente o valor de pico positivo e pico negativo, e quando encontra um sinal que apenas cresce ou decresce, normalmente é indicado sempre o valor de pico positivo.

Por último, o detetor de média, que também pode ser referido como RMS (*root mean square*) em alguns equipamentos, vai fazer uma média da potência do sinal, baseada na raiz quadrada do valor de tensão do sinal. Este detetor é o adequado para sinais digitais, dado que tem em conta todo o sinal amostrado no intervalo de tempo da medição.

### 3.1.1.6 Gama Dinâmica

A gama dinâmica indica qual é relação entre a máxima e mínima amplitude que o equipamento permite medir, sendo a máxima limitada pelo nível de sinal para o qual não existe ainda distorção (*1 dB compression point*) e a mínima pelo nível de sensibilidade (DANL).

## 3.2 Analisador de Sinais Vetoriais

O analisador de sinais vetoriais (*Vector Signal Analyser* – VSA) é uma evolução do analisador de espectros tradicional, com a diferença de que o sinal é amostrado por um conversor analógico-digital (ADC) de alta velocidade, ao qual são aplicadas técnicas de processamento digital de sinal (*Digital Signal Processing* - DSP).

Neste tipo de equipamento surge um problema adicional que não existia nos analisadores de espectro, que é a resolução do ADC, e por isso, no caso da gama dinâmica do equipamento, aos limites provocados pelo ruído térmico e a máxima potência aceite pelo *mixer*, temos que acrescentar o número de bits do ADC, pois o sinal é digitalizado antes de lhe ser aplicada a *Fast Fourier Transform* (FFT) para os cálculos [23].

Como se pode observar pelo diagrama de blocos da Fig. 3-3, no analisador de sinais vetoriais, apesar dos primeiros andares de entrada ainda serem analógicos, a sua parte de medição e visualização do sinal já é completamente digital. Outro módulo adicional é o filtro *anti-aliasing* que precede o ADC, destinado a limitar a largura de banda do sinal, eliminando as frequências superiores à frequência de Nyquist, de modo a garantir as condições do teorema da amostragem; segundo o qual, um sinal para ser integralmente reconstruído, sem erros de *aliasing*, deve ser amostrado a uma frequência superior ao dobro da frequência máxima do sinal amostrado.

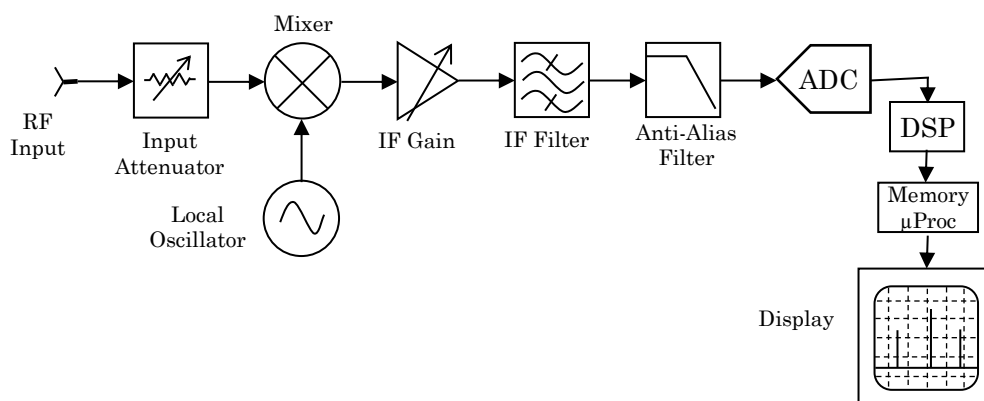


Fig. 3-3 – Diagrama de blocos de um analisador de sinais vetorial



Dado que o filtro de *anti-aliasing* não é perfeito, havendo uma banda de transição, e de modo a garantir as condições do teorema de amostragem, a taxa de amostragem do equipamento é um pouco superior à taxa de Nyquist.

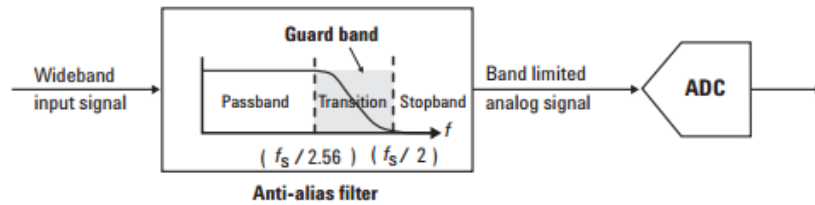


Fig. 3-4 – Filtro *anti-aliasing*, com banda de guarda de 40 a 50% da frequência de amostragem [35]

Na Fig. 3-5 é possível observar, com maior pormenor, a parte digital da amostragem e tratamento de um sinal elementar, neste caso, uma onda sinusoidal.

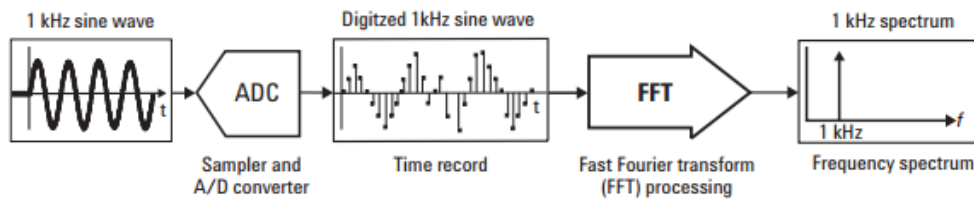


Fig. 3-5 – Exemplo do processamento de uma onda sinusoidal de 1 kHz [35].

### 3.2.1 Janelamento

A *Fast Fourier Transform* (FFT) assume que o sinal a ser processado é periódico no tempo e se repete indefinidamente, o que não acontece na realidade, pois como os sinais não são periódicos vai ocorrer uma descontinuidade entre as diferentes amostragens do sinal.

Para garantir que há uma continuidade do sinal, executa-se então uma operação de janelamento, ou seja, multiplica-se o sinal amostrado por uma função de janelamento. Deste modo, como a função de janelamento tem valor zero no início e no fim, garante-se que os pontos de junção entre as diferentes amostragens efetuadas no tempo de

gravação sejam zero, assegurando a continuidade entre os diferentes registos. Esta operação distorce os dados no domínio do tempo, mas melhora a precisão no domínio da frequência.

Caso não se garantisse esta continuidade entre os sinais amostrados, ao calcular-se a FFT do sinal, resultaria um espectro com espalhamento, o que introduziria erros indesejados, como se pode ver na seguinte figura:

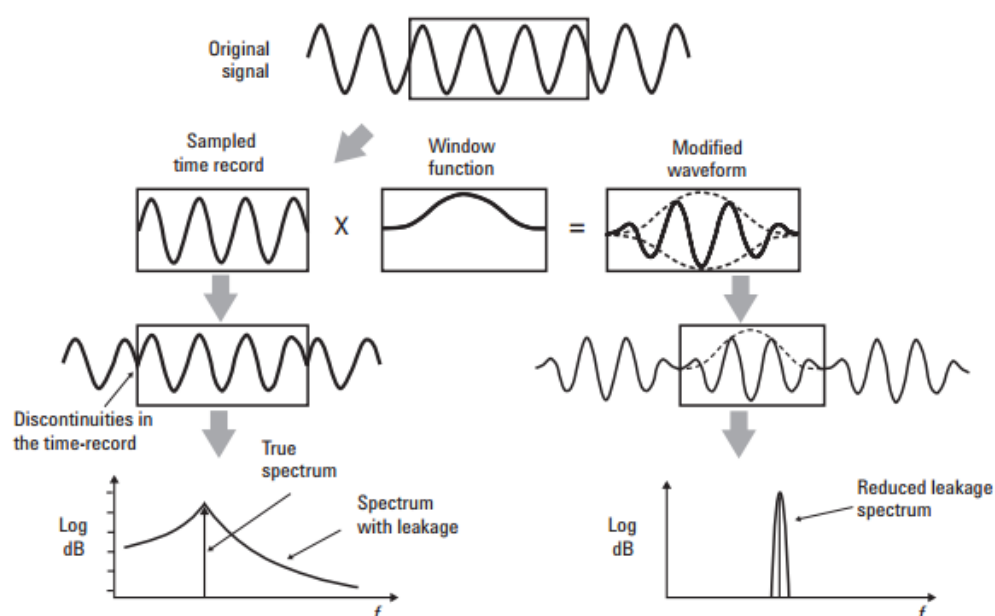


Fig. 3-6 – Janelamento [35]

Alguns dos tipos mais comuns de janelamento e algumas das suas áreas de aplicação encontram-se resumidos na Tabela 3-1:

Janela	Tipo de Sinal
Retangular	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transitórios cuja duração é menor que o comprimento da janela</li> <li>• Separação de dois tons de frequências muito próximas, mas com amplitudes quase iguais</li> <li>• Ruído branco</li> </ul>
Hamming	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ondas sinusoidais pouco espaçadas</li> </ul>
Hanning	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transitórios cuja duração é superior ao comprimento da janela</li> <li>• Aplicações gerais</li> <li>• Onda sinusoidal ou combinação de ondas sinusoidais</li> <li>• Sinais aleatórios de faixa estreita</li> </ul>

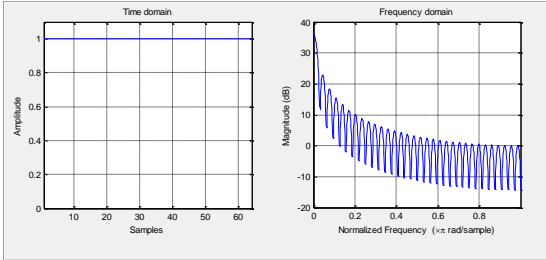
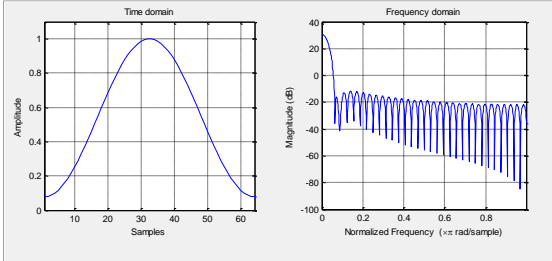
Tabela 3-1 – Aplicação das janelas de acordo com o tipo de sinal a ser analisado

(Fonte: [3] [31]).

Janela	Definição
Rectangular	$w(t) = \begin{cases} b, &  t  \leq a \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (3.3)$
Hamming	$w(t) = \begin{cases} 0.54b + 0.46b \cos\left(\frac{\pi t}{a}\right), &  t  \leq a \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (3.4)$
Hanning	$w(t) = \begin{cases} b \cos^2\left(\frac{\pi t}{a}\right), &  t  \leq a \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (3.5)$

**Nota:**  $a > 0$  é um parâmetro para ajustar a largura da janela de modo a capturar as incidências de interesse do sinal;  
 $b > 0$  é usado para normalizar a função da janela.

Tabela 3-2 -.Funções das janelas. (Fonte: [3] [37])

Janela	<i>Time and Frequency Representations</i>
Rectangular	
Hamming	

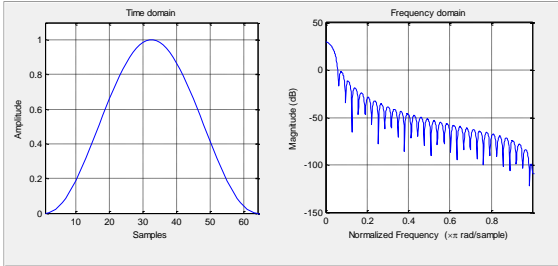
Janela	<i>Time and Frequency Representations</i>
Hanning	

Tabela 3-3. – Resposta no tempo e na frequência das funções das janelas.

### 3.2.2 Fast Fourier Transform

A transformada de Fourier (TF) de um sinal é uma ferramenta matemática que permite decompor um sinal em sinusoides de frequências diferentes cuja soma resultam no sinal original, e pode representar-se na sua forma normalizada como:

$$X(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad (3.6)$$

Em que  $\omega$  é a frequência angular ou radial, expressa em rad/s sendo  $\omega = 2\pi f$

Na análise espectral usada nestes equipamentos em que há uso de técnicas de processamento digital, e uma vez que estamos a lidar com variáveis discretas, usam-se algoritmos otimizados de cálculo como a *Fast Fourier Transform* (FFT), (algoritmo rápido de cálculo da *Discrete Fourier Transform*), a qual pode ser calculada por:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j\frac{2\pi nk}{N}}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3.7)$$

Em que N=número total de amostras temporais

No entanto, é possível verificar que o mesmo espectro nem sempre representa o mesmo sinal, por exemplo, dois sinais compostos por duas sinusoides, apesar de serem diferentes no tempo têm a mesma representação espectral. Isto implica que não é possível recuperar a informação original apenas a partir do espectro, pois foi perdida a informação temporal do sinal.

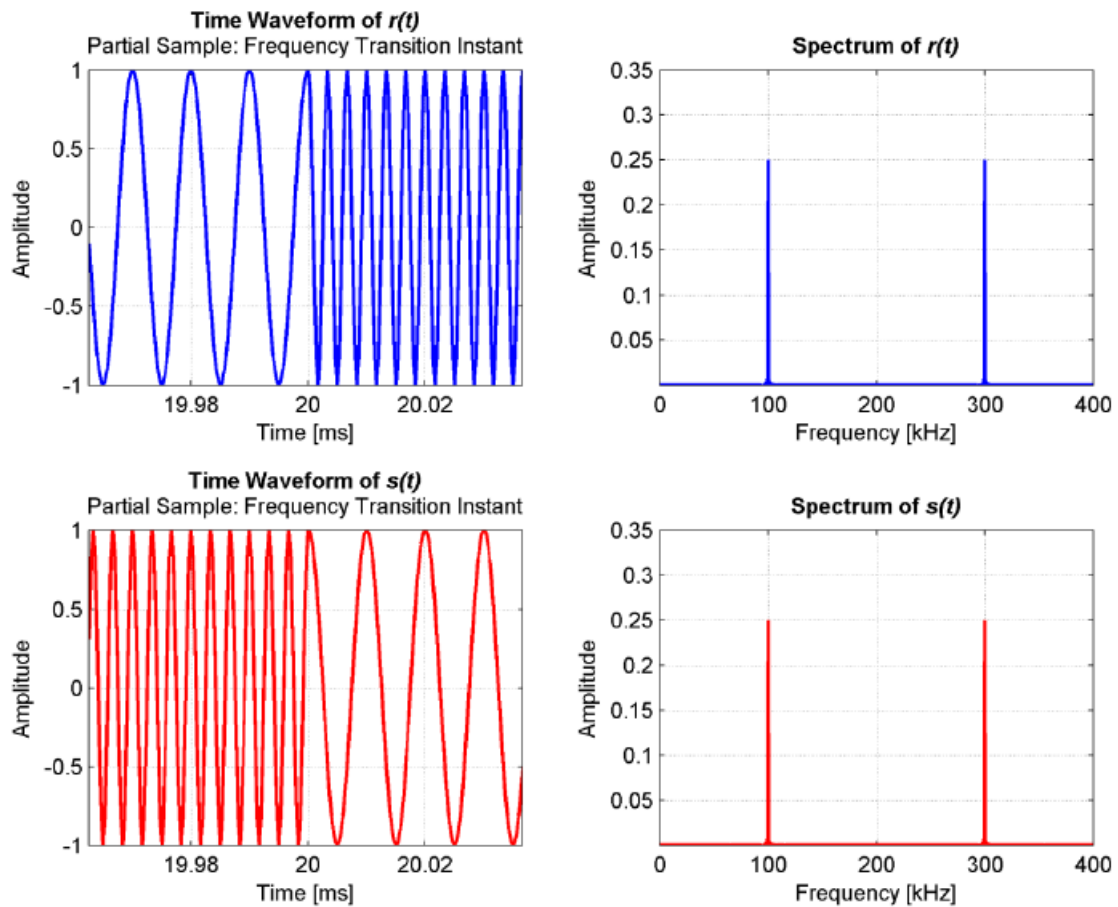


Fig. 3-7 – Representações de dois sinais diferentes no domínio do tempo e no domínio da frequência [3].

### 3.3 Analisador de Espectros em Tempo Real

Por último, será apresentado o analisador de espectros em tempo real (*Real Time Spectrum Analyser* – RTSA), que é uma evolução do analisador de sinais vetoriais (VSA), em que são usadas técnicas de elevada capacidade de cálculo e de análise de FFTs, com recurso a processadores muito rápidos que permitem uma análise contínua do sinal, por oposição aos VSA, em que a FFT era efetuada ao nível da frequência intermédia (FI), o que fazia com que fosse gasto algum tempo de cálculo na transformada de Fourier, durante o qual, nos VSA, o sinal era ignorado, também conhecido como “tempo cego”, como se representa na seguinte Fig. 3-8.

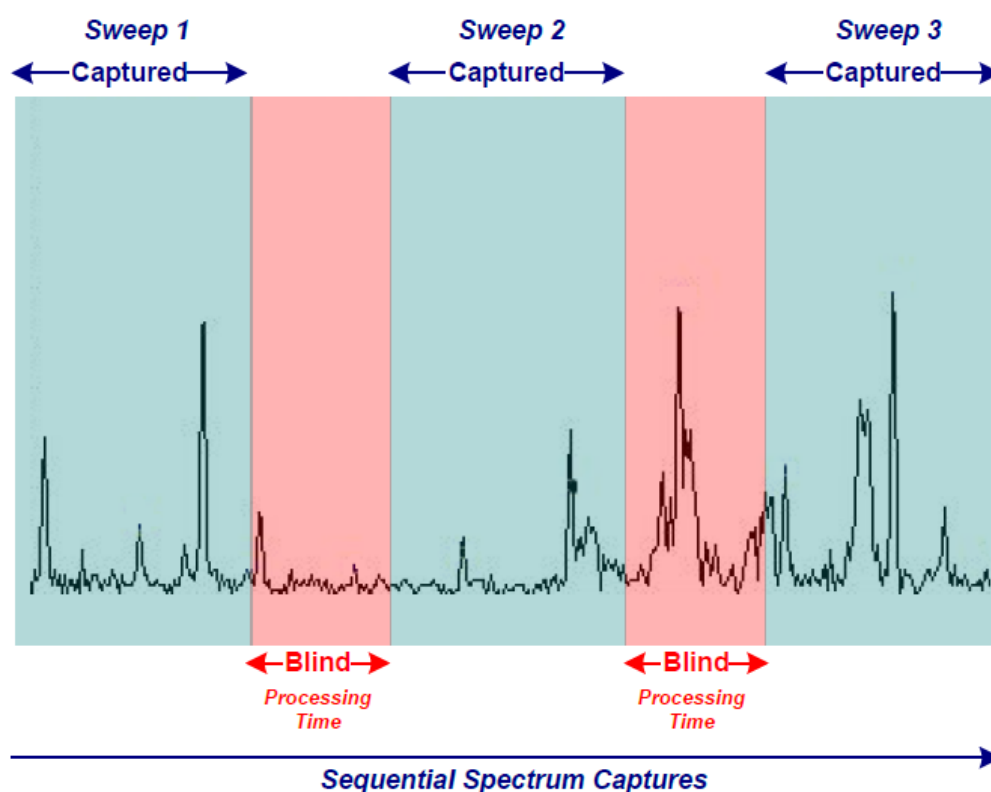


Fig. 3-8 – Captura sequencial do espectro nos analisadores de espectro tradicionais [3]

Numa primeira tentativa de resolver esta perda de informação, surgiram analisadores de espectro que usavam múltiplos filtros de banda estreita para o cálculo da FFT, que otimizavam o tempo de processamento, uma vez que permitiam ciclos de varrimento mais rápidos, minimizando os períodos “cegos”. Ainda assim, não os conseguiam eliminar totalmente.

Para ultrapassar este problema de perda de informação, surgiram então os RTSA que, fazendo uso de processadores de grande capacidade de cálculo e de grande rapidez de processamento, aos quais se juntaram grandes capacidades de memória, permitem efetuar a aquisição e cálculo de dados em paralelo. Na prática, o equipamento está permanentemente a amostrar o sinal, enquanto as FFTs estão a ser calculadas por múltiplos processadores em paralelo, normalmente por *Field-Programmable Gate Arrays* (FPGA).

Tipicamente, estas múltiplas FFTs são de facto *Short-Time Fourier Transform* (STFT), que os RTSA implementam na sua forma discreta, para cuja descrição e estudo

se aconselha que seja consultado o capítulo 5 da tese “*Impact of the Transient Behavior of Radio Communication Systems on Spectrum Management*” [3], onde a mesma é detalhadamente analisada.

Com esta capacidade de cálculo, os RTSA calculam FFTs consecutivas, de tal modo que, há uma sobreposição de várias janelas de FFT para a mesma amostra de sinal, fazendo com que mesmo eventos transitórios de muita curta duração possam ser efetivamente capturados.

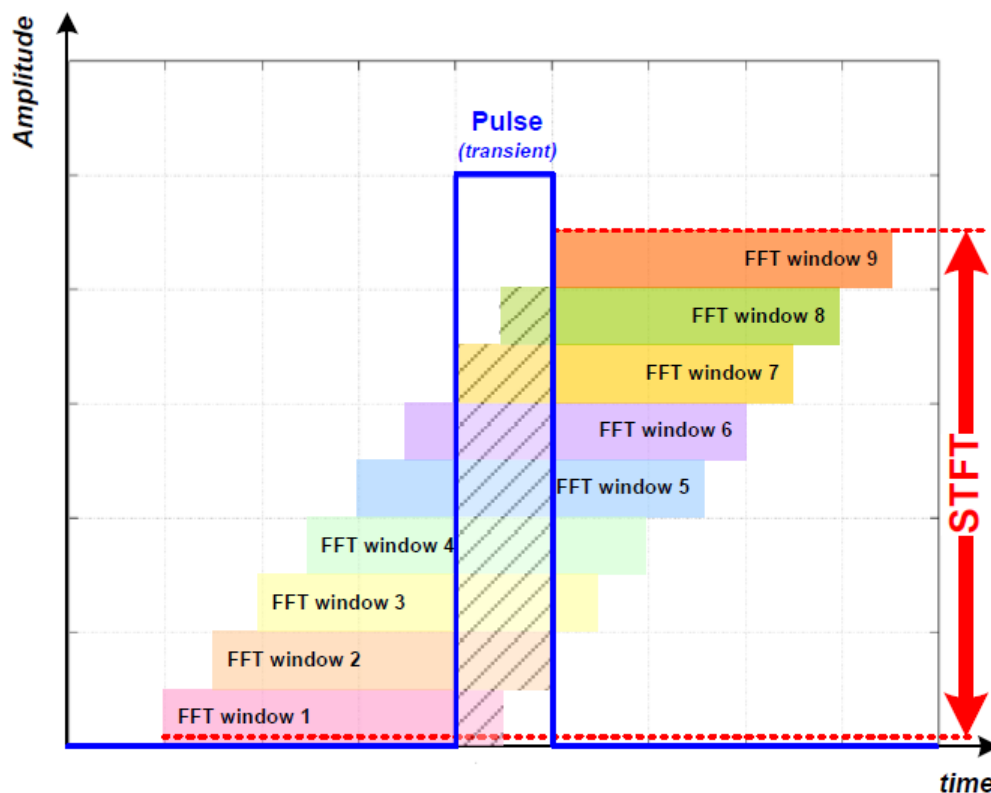


Fig. 3-9 – Captura de sinal usando múltiplas janelas de FFT consecutivas e em sobreposição [3]

### 3.3.1 Diagrama de Blocos

Apresenta-se de seguida um diagrama de blocos de um RTSA, em que tal como nos anteriores o andar de entrada é inevitavelmente analógico, sendo o sinal depois convertido digitalmente por um ADC, e toda a análise posterior é efetuada por STFT com recurso a DSPs muito rápidos.

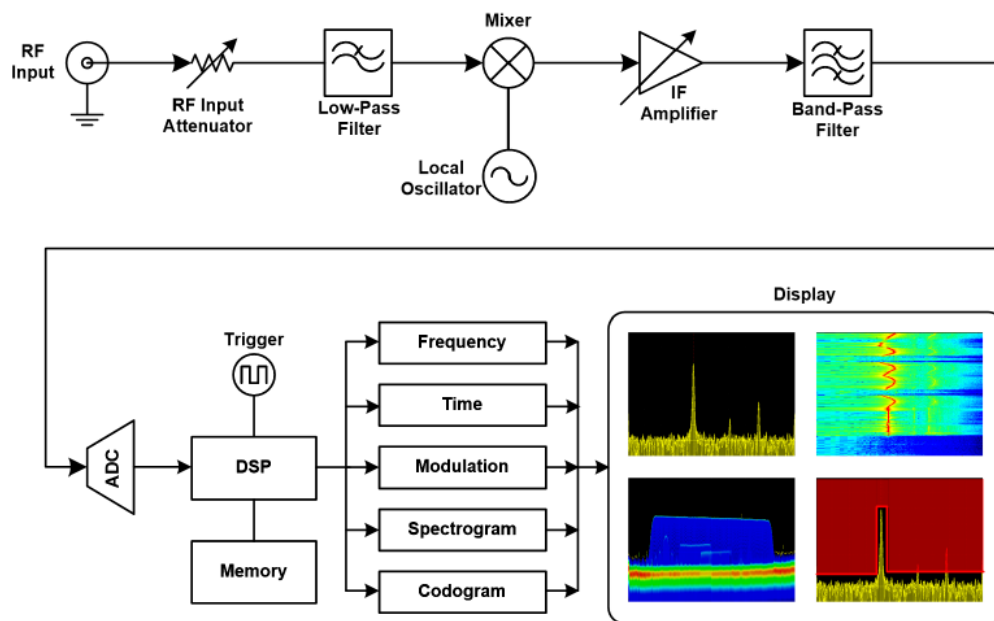


Fig. 3-10 – Diagrama de blocos de um RTSA

O processamento disponível permite, para além da análise espectral do sinal, obter outros tipos de representação, tais como espectrogramas, espectros de persistência, e também a definição de máscaras de disparo (*trigger*) e de validação, diretamente no ecrã do equipamento.

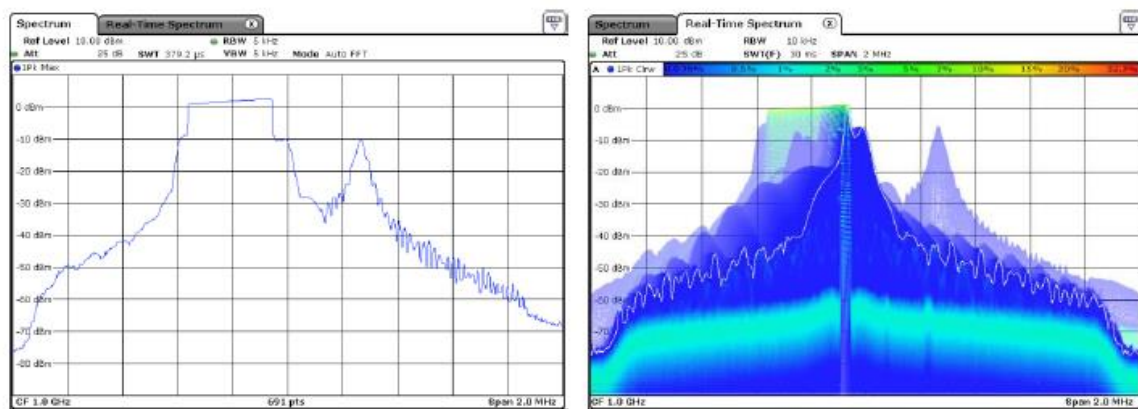


Fig. 3-11- Comparação de um analisador de espectros tradicional e um espectro de persistência (Fonte: Rohde & Schwarz [36])



Uma funcionalidade adicional e que permite o tratamento de sinais medidos nos RTSA, é a possibilidade de gravar digitalmente o sinal de banda base IQ (complexo), que é exportado, por exemplo no formato mat-file (\*.mat) da MATLAB™, para ser analisado separadamente, como acontece no caso deste trabalho.

Efetivamente, o RTSA pode inclusive efetuar validações de máscara de acordo com o proposto [3], desde que tal seja implementado no programa de análise dos sinais. O que acontece nos equipamentos atuais é que, apesar da STFT ser normalmente utilizada, a gestão dos restantes parâmetros de configuração é feita de forma automática, ou são usados valores por omissão, não deixando o operador do equipamento ajustar manualmente estes parâmetros.

Apesar das capacidades introduzidas pelos RTSAs, a validação completa de uma BEM ainda é um desafio considerável, dado que, por exemplo, no caso de uma BEM do sistema LTE800, para uma PIRE de 59 dBm/10Mhz, a largura de banda a ser avaliada seria de 110 MHz e a gama dinâmica teria que ser superior a 105,5 dB [3].

### **3.3.2 Máscara em Frequência**

Uma funcionalidade normalmente disponível nos RTSA de gerações mais recentes e com maiores capacidades de processamento é a possibilidade de se definir uma máscara em frequência que funcionará como elemento desencadeador de um evento (*trigger*), sempre que a emissão alvo de medida entra, ou sai, dependendo de como ela é definida, da área da máscara definida.

Esta funcionalidade permite não só a deteção imediata de um evento que ocorra e que ultrapasse os limites definidos pela máscara, como permite que o procedimento de medida decorra durante um período de tempo alargado, sem necessidade de guardar o sinal, o que resultaria em quantidade enormes de dados, pois só serão guardados as amostras dos eventos que efetivamente comprometeram os limites impostos pela máscara.

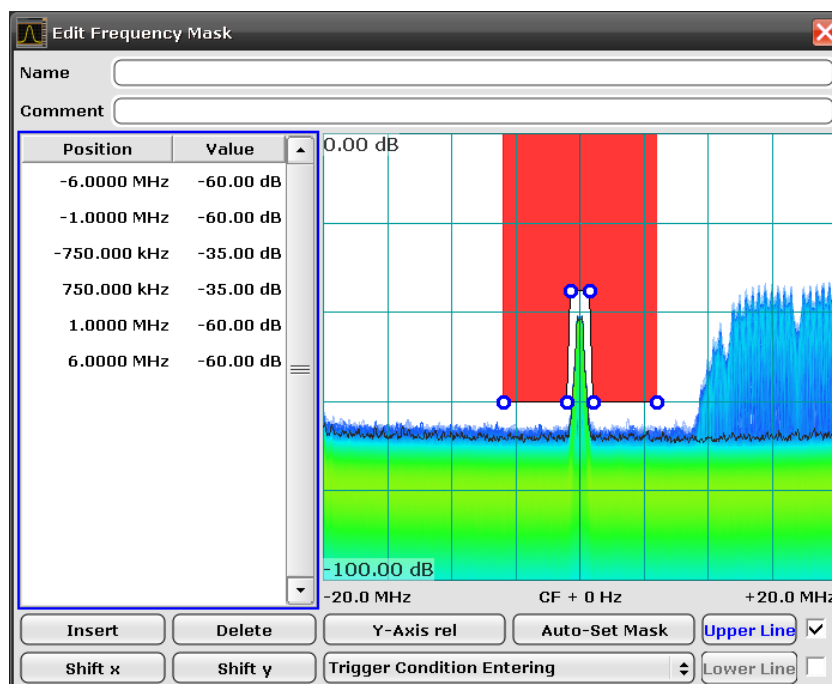


Fig. 3-12 - Exemplo do processo de definição da máscara em frequência (*Fonte: Rohde & Schwarz [36]*)

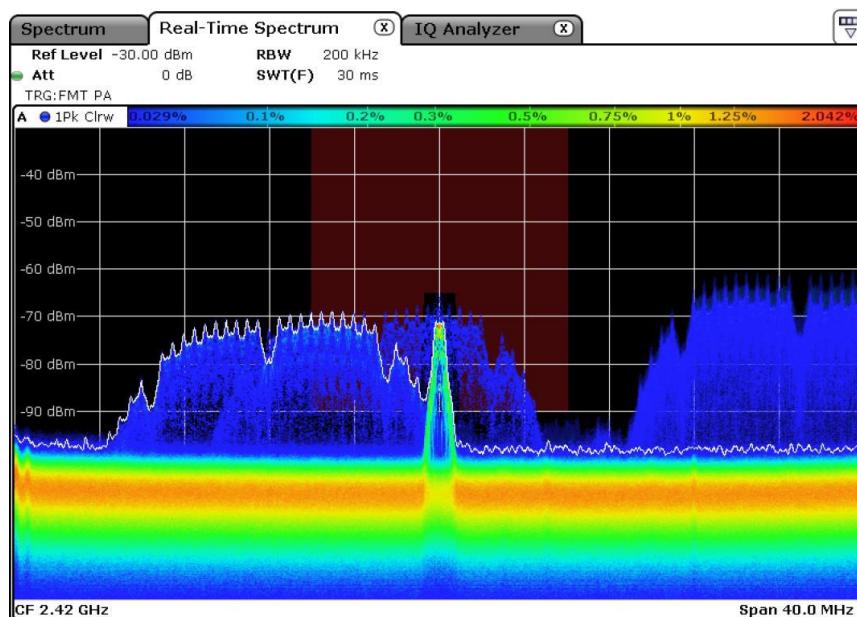


Fig. 3-13 - Aplicação prática da máscara em frequência num sinal WLAN (*Fonte: Rohde & Schwarz [36]*)

### 4 Caso de Estudo – Validação da BEM

Este capítulo incidirá no estudo da validação da *Block Edge Mask*, através de medições radiadas, conforme descrito em 2.5.2.3.1. No entanto, o método proposto é extensível a qualquer uma das abordagens de medição conduzidas, quer seja em condições normais de operação, tal como indicado em 2.5.2.3.2, ou com a estação de base do operador em modo de teste, como indicado em 2.5.2.3.3, como se verá mais à frente.

A recomendação ECC/REC(11)06 [6] propõe um método de medição e validação da BEM do sinal LTE com recurso a um analisador de espectros tradicional, o qual, apesar de ser indicado e adequado para sinais que se mantêm constantes, ou com reduzida variabilidade, ao longo do tempo, pode não ser o mais aconselhável para sinal LTE que, na realidade, são variantes no tempo.

No entanto, o sinal LTE, sendo uma tecnologia flexível que permite fornecer comunicações de voz ou vídeo, também disponibiliza comunicações de dados num sentido mais lato, contribuindo para que a sua “carga” na rede exiba um comportamento dinâmico, podendo ter não só variações da quantidade de dados ao longo das 24 horas do dia, e por isso, mais tráfego durante o dia e menos à noite, ou mais tráfego durante o dia nas zonas de escritórios e menos à noite, em contraponto com os padrões de utilização das zonas habitacionais. Contudo, poderão existir variações significativas em instantes de tempo muito reduzidos, bastando que um utilizador decida fazer um *download* de algum conteúdo na *web* para que o sinal de LTE, que estaria apenas com uma comunicação de voz, que ocupa muito pouco da capacidade disponível permitida do sinal de LTE, contribua para uma ocupação quase total dos recursos da rede.

Decorrente desta dinâmica intrínseca ao sinal de LTE, é muito provável que, caso ocorra uma violação ocasional dos limites impostos por uma qualquer BEM, esta possa

não ser devidamente identificada com recurso ao processo de medição de saltos de 50 kHz. Ou até mesmo, em casos em que ocorram violações periódicas, mas que por coincidência não aconteçam no período em que o analisador de espectros esteja a medir essa faixa de 50 kHz.

É ainda de realçar que, ao analisar-se um sinal, seja de LTE, ou outro que tenha uma largura de banda da ordem de MHz, o método de saltos sequenciais de 50 kHz é um método lento e fastidioso, demorando alguns minutos (o tempo de medição dependerá do número de pontos horizontais do equipamento), sendo aconselhável uma implementação automatizada com recurso a uma ferramenta computacional que agilize o controlo e recolha dos dados.

Por fim, ao ser recomendado que o analisador de espectros deve estar em *zero span* (Tabela 2-10), que é efetivamente o adequado a medições temporais, na prática, quase que se reduz ou converte o analisador de espectros num frequencímetro seletivo ou, até mesmo, num osciloscópio.

Conforme descrito, facilmente se verifica que, nos casos em que se pretenda avaliar um sinal de LTE, que pode apresentar uma variabilidade temporal muito “viva” e dinâmica da sua carga, o analisador de espectro poderá não será o equipamento mais adequado.

É com base nesta constatação que se gizou uma nova metodologia, a ser usada para a validação da zona central da BEM, de 20 MHz de largura de banda em torno do seu centro, baseada em técnicas de análise tempo-frequência, conforme proposto na tese “*Impact of the Transient Behavior of Radio Communication Systems on Spectrum Management*” [3] e que, nesta dissertação, se propõe aplicar a metodologia desenvolvida na atualização de uma recomendação de âmbito europeu, a ECC/REC(11)06 - *Block Edge Mask Compliance Measurements for Base Stations*, promovendo-se ativamente a sua atualização, de modo a que passe a incluir técnicas de análise mais sofisticadas, mais fiáveis e adequadas.

## 4.1 Método usado para a validação da BEM de acordo com a ECC REC(11)06

Neste ponto, apresentar-se-á a descrição prática do método de medição aplicável, tendo por base a recomendação ECC REC(11)06. No entanto, cingir-nos-emos apenas à parte do *setup* descrito no ponto 2.5.2, após o filtro sintonizável e sem a necessidade de recurso ao *switch* e respetivo *tracking generator* do equipamento recetor que seria utilizado para caracterizar o referido filtro e, assim, reconstruir o espectro do sinal de LTE, através da função de transferência inversa (*inverse transfer function*).

Assim, assumir-se-á que nos encontramos numa posição ideal, por oposição a uma situação real como a observada na Fig. 4-1, com o emissor da estação de base de LTE ligada diretamente à entrada de RF do equipamento de medição, não existindo sinais fortes nas redondezas, sendo, além disso, o nível de sinal conhecido e controlável. Nesta situação, pode prescindir-se do filtro sintonizável e, conseqüentemente, não será necessário usar o *tracking generator* para a sua caracterização.

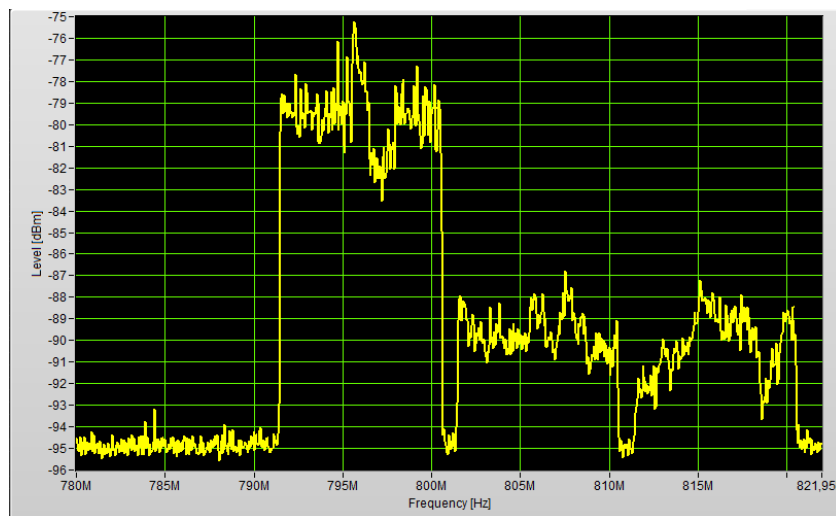


Fig. 4-1 – Espectro real da faixa de *downlink* do LTE

Dado que não ser possível recolher dados reais de uma emissão LTE700, uma vez que não existem ainda em Portugal implementações práticas e comerciais de LTE nesta faixa de frequências, vão ser utilizados sinais de teste de acordo com a norma ETSI TS

136 141 [20], disponibilizado pelo gerador de sinais vetoriais modelo SMBV100 da Rohde & Schwarz™.

Será ainda de relevar que os valores gerados e medidos não correspondem, em absoluto, aos valores de potência encontrados numa situação real, não só porque o gerador de sinais vetoriais não permite potências elevadas, mas também pelo facto dos testes se terem realizado em ambiente laboratorial. Em virtude destas condicionantes, os valores considerados para a geração da máscara BEM para o LTE800 foram ajustados de modo a que os limites ficassem, na maioria dos casos, próximos dos valores medidos no analisador de espectros, conforme previsto no método proposto na recomendação [6].

#### **4.1.1 Descrição do método**

Nesta situação ideal, podemos apenas usar o equipamento recetor, que sendo um analisador de espectros será configurado de acordo com a recomendação [6], detalhada na Tabela 2-10.

Considerando que uma máscara de um sinal de LTE800 pode ter uma largura de banda de 90 MHz e, dado que o valor de largura de banda é definido em 100 kHz, então a medição deve ser realizada em passos de metade do valor da largura de banda definida, como se observou no ponto 2.5.2.3.1. Atendendo às especificações do equipamento recetor (Tabela 2-10), a medição será efetuada em troços de 50kHz, donde resultarão 1800 “fatias” de espectro, até completar a recolha de todo o espectro do sinal de LTE, necessário para a validação da BEM.

Por restrições de tempo, e dado que o processo usado para validar a máscara BEM de toda a largura de banda de 90 MHz é equivalente ao usado na faixa central de 40 MHz, optou-se por implementar apenas esta, sendo de realçar que, no processo de validação da restante máscara, deveriam ser tidos em conta os parâmetros de ajuste do analisador de espectros, dado que, se vão medir valores em diferentes gamas de nível de sinal.

Mais se realça que, para facilitar o cálculo de toda a máscara BEM do LTE, se deveria realizar a medição em faixas de frequência que tivessem um nível limite de referência da máscara comum, ou seja, como o indicado na Fig. 4-2.

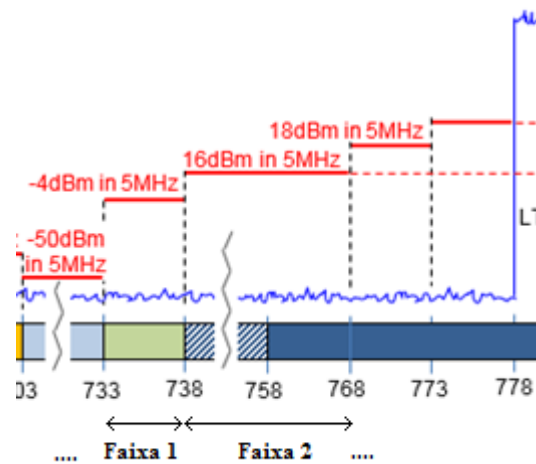


Fig. 4-2 – Medição por troços de faixa com limites equivalentes

Adicionalmente, por questões de simplificação do processo, não se procederá à medição do nível de ruído do sistema, embora necessário e previsto na recomendação ECC/REC(11)06.

Dado que não se encontra disponível uma estação de base de sinais LTE reais, usar-se-ão sinais de teste (*E-UTRA Test Models*), disponíveis no gerador de sinais vetoriais, de acordo com a norma ETSI TS 136 141 [20], adequados aos testes a efetuar nos casos especificados na Tabela 4-1.

<i>E-UTRA Test Model:</i>	<i>Defined for tests on:</i>
E-TM 1.1	<i>Base Station output power</i> <i>Unwanted emissions:</i> <i>Occupied bandwidth</i> <i>Adjacent Channel Leakage Ratio (ACLR)</i> <i>Operating band unwanted emissions</i> <i>Transmitter spurious emissions</i> <i>Transmitter intermodulation</i> <i>Reference Symbol absolute accuracy</i>
E-TM 1.2	<i>Unwanted emissions</i> <i>Adjacent Channel Leakage Ratio (ACLR)</i> <i>Operating band unwanted emissions</i>
E-TM 2	<i>Total power dynamic range (lower OFDM symbol power limit at min power),</i> <i>EVM of single 64QAM Physical Resource Block allocation (at min power)</i> <i>Frequency error (at min power)</i>
E-TM 3.1	<i>Output power dynamics:</i> <i>Total power dynamic range (upper OFDM symbol power limit at max power with all 64QAM PRBs allocated)</i> <i>Transmitted signal quality:</i> <i>Frequency error</i> <i>EVM for 64QAM modulation (at max power)</i>

Tabela 4-1 – Resumo dos Modelos de Teste da norma ETSI 136 141 [20]

Para o controlo do analisador de espectros foi desenvolvido um programa na linguagem LabVIEW (Fig. 4-3), no qual se definem as condições iniciais:

- RBW;
- VBW,
- faixa de frequência a medir
- frequência central
- valor de *offset* em relação à frequência central
- nível de referência inicial
- número de pontos no analisador de espectros
- *sweep time*
- número de varrimentos (*sweeps*)
- valor de *offset* do nível de referência.

Um dos parâmetros definidos, o valor de *offset* do nível de referência, advém da experiência de um organismo regulador europeu, e que resulta de um grande número de avaliações de máscaras BEM, aconselhando a utilização de um nível de referência do equipamento sempre superior em 40 dB, em relação ao sinal que se está a medir.

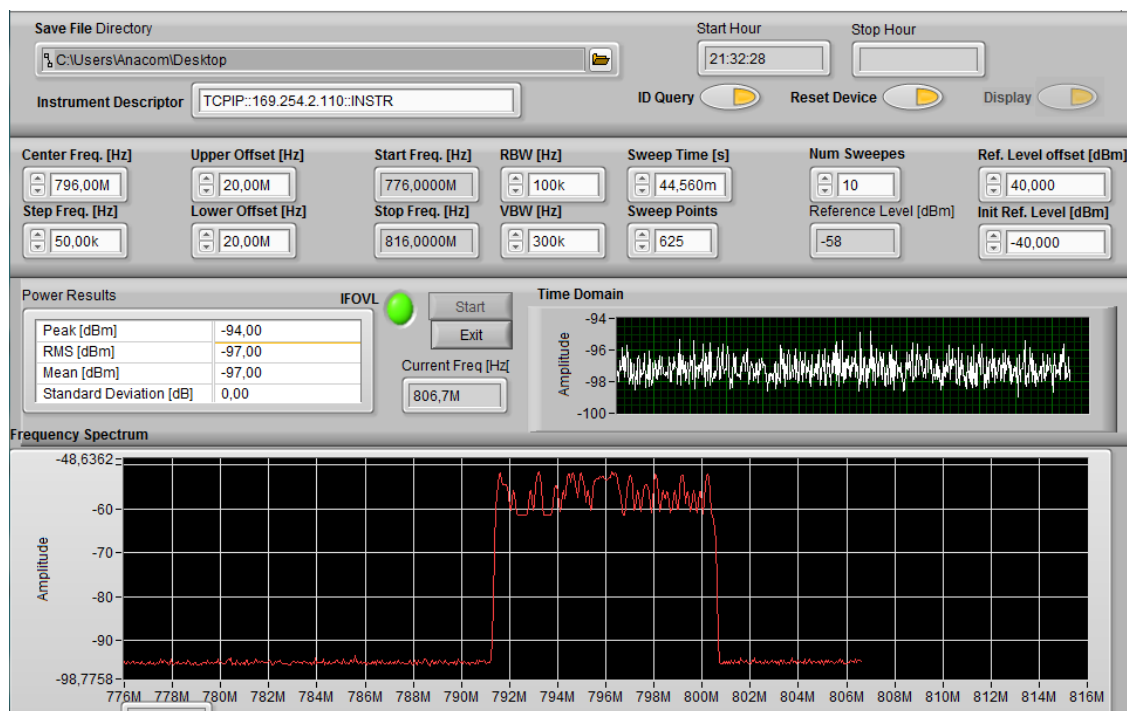


Fig. 4-3 – Ecrã do programa de aquisição de dados



O *setup* simplificado de medições, com os sinais de teste considerados na Tabela 4-11 é ilustrado na Fig. 4-4:

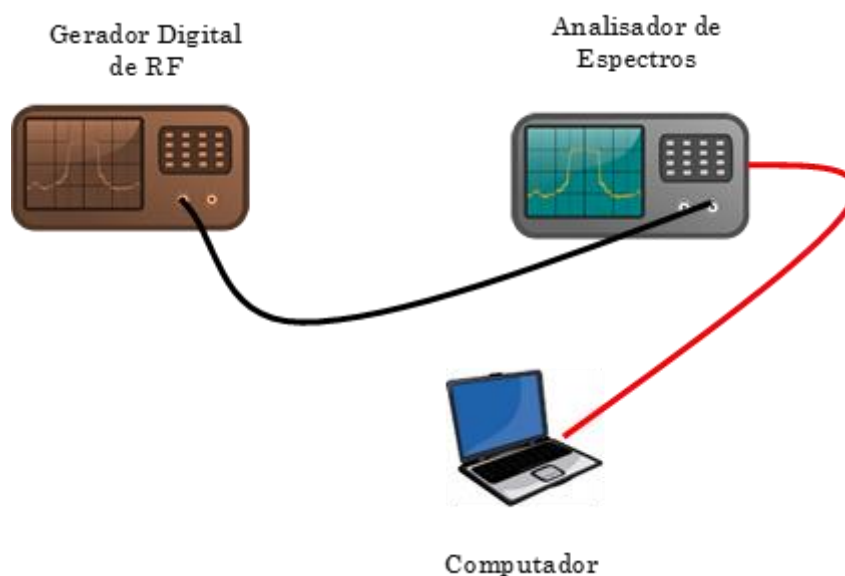


Fig. 4-4 – Diagrama de blocos simplificado do *setup* de teste

O *software* de controlo medirá, simultaneamente, os valores, armazenando-os para posterior construção do espectro do sinal de LTE a avaliar, de modo a verificar se cumpre, ou não, a BEM. Além disso, poderá entrar ainda em linha de conta com os restantes parâmetros e medições que são necessárias num processo de medição real, tais como, a verificação do nível de ruído do sistema, atendendo às características do filtro utilizado.

#### 4.1.2 Implementação e validação

O *setup* descrito em 4.1.1 foi montado em laboratório, tendo sido efetuadas várias sequências de medição, para cada um dos sinais de teste disponíveis, de modo a obter uma amostra representativa de sinais que permitissem retirar conclusões quanto à adequabilidade e viabilidade de implementação do programa desenvolvido, tendo em conta, em particular, aspetos inerentes à visualização do sinal medido face ao gerado, e à duração do processo.

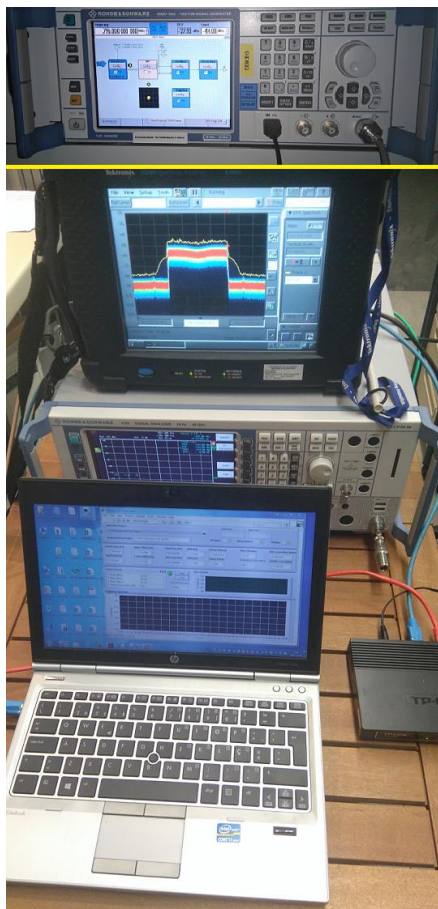


Fig. 4-5 – *Setup* de medição e testes

Como equipamento auxiliar, foi utilizado um analisador de espectros em tempo real, de largura de faixa de 20 MHz, para verificação e monitorização do sinal gerado, quer no modo tradicional, como analisador de espectros, quer no modo em tempo real.

#### 4.1.2.1 Sinal de Teste E-TM 1.1

Foi verificado que o sinal E-TM 1.1 correspondia ao esperado, conforme a simulação obtida por MATLAB™ [29], apresentando estabilidade ao longo do tempo, mesmo com uma potência elevada.

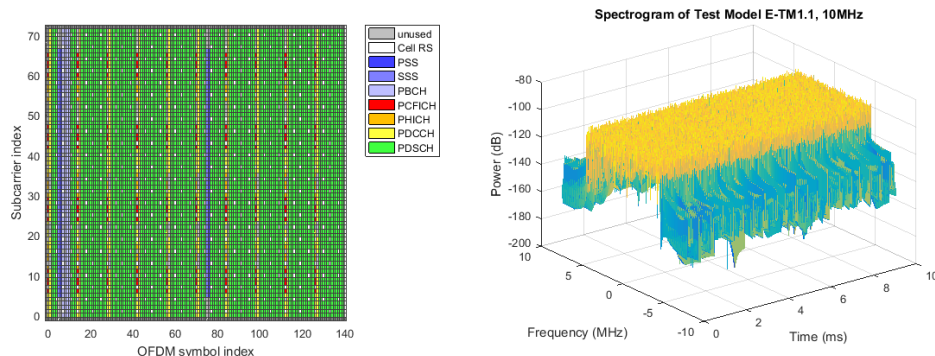


Fig. 4-6 - Sinal E-TM 1.1 definido pela ETSI TS 136 141

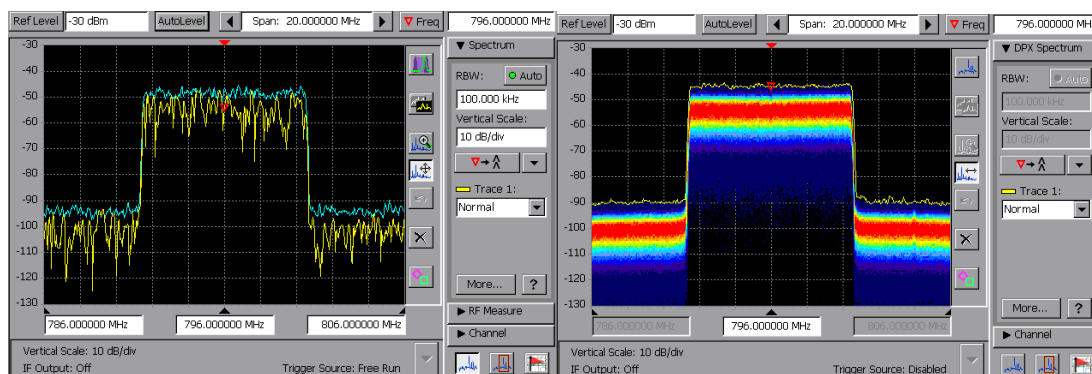


Fig. 4-7 – Sinal E-TM 1.1 análise espectral e em tempo real

Assim, o sinal medido corresponde ao esperado, obtendo-se um sinal estável ao longo do tempo.

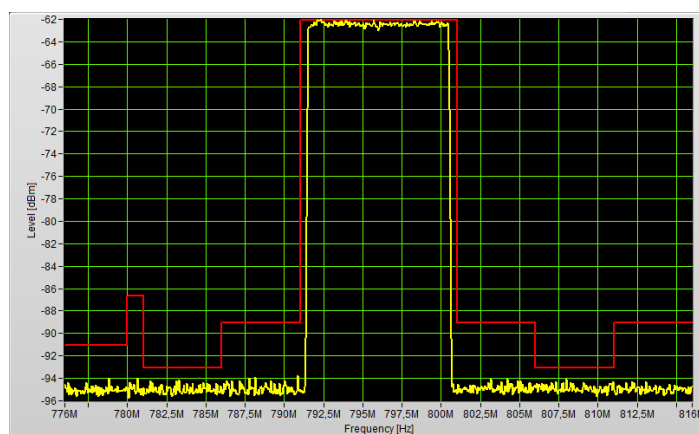


Fig. 4-8 – Sinal E-TM 1.1 e máscara BEM obtida

#### 4.1.2.2 Sinal de Teste E-TM 1.2

Foi verificado que o sinal E-TM 1.2 apresenta alguma variação ao nível da frequência e do tempo, em resultado de variações introduzidas pelo modelo de teste, que inclui *power boosting e de-boosting* dos Physical Resource Block (PRB), ou seja, transmitindo mais ou igual potência do que a atribuída ao *Physical Downlink Shared Channel* (PDSCH) [30].

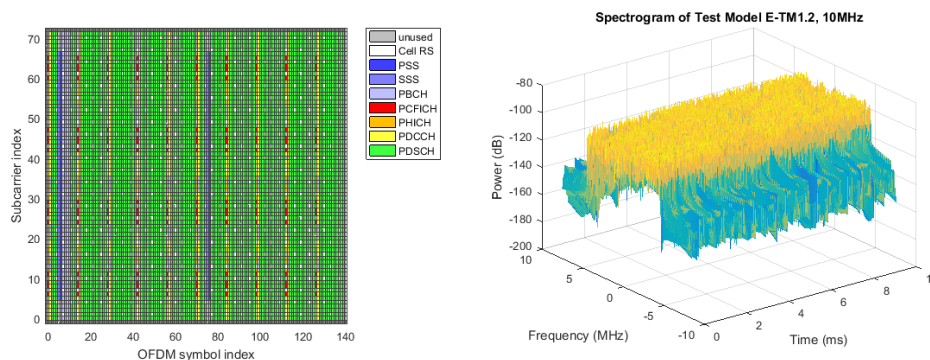


Fig. 4-9 - Sinal E-TM 1.2 definido pela ETSI TS 136 141

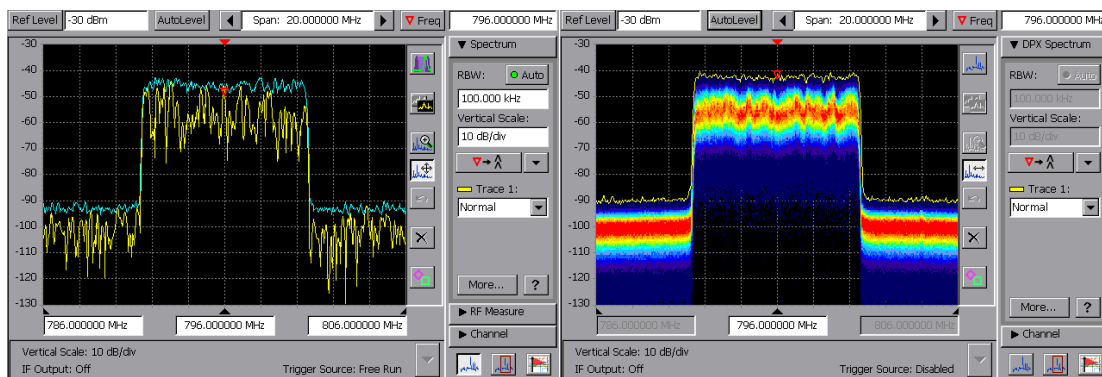


Fig. 4-10 – Sinal E-TM 1.2 análise espectral e em tempo real

O sinal medido corresponde ao esperado, apesar de não ser tão evidente na análise que segue o procedimento preconizado na recomendação, pois as variações que facilmente se observam visualmente na imagem obtida através do analisador em tempo real não são observáveis através do analisador de espectros.

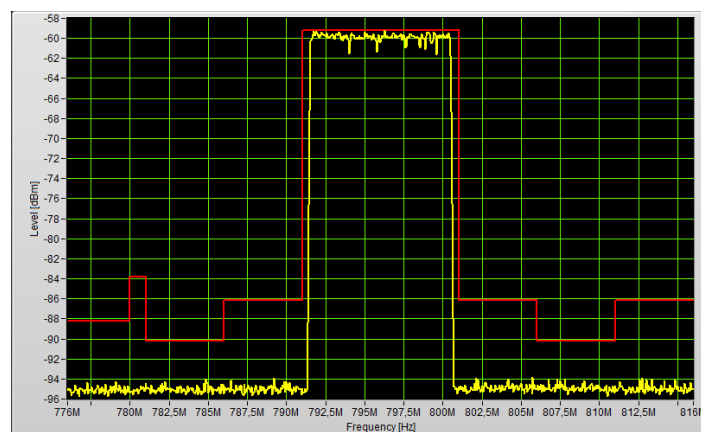


Fig. 4-11 – Sinal E-TM 1.1 medido e máscara BEM

#### 4.1.2.3 Sinal de Teste E-TM 2

Foi verificado que o sinal E-TM 2 apresenta variação do nível da carga ao longo do tempo.

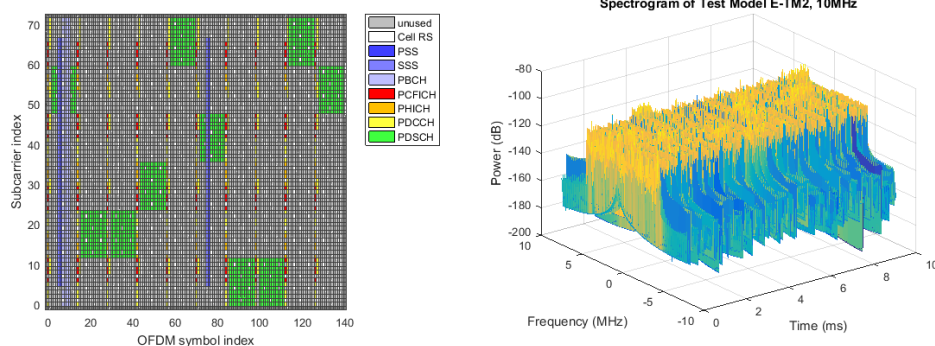


Fig. 4-12 - Sinal E-TM 2 definido pela ETSI TS 136 141

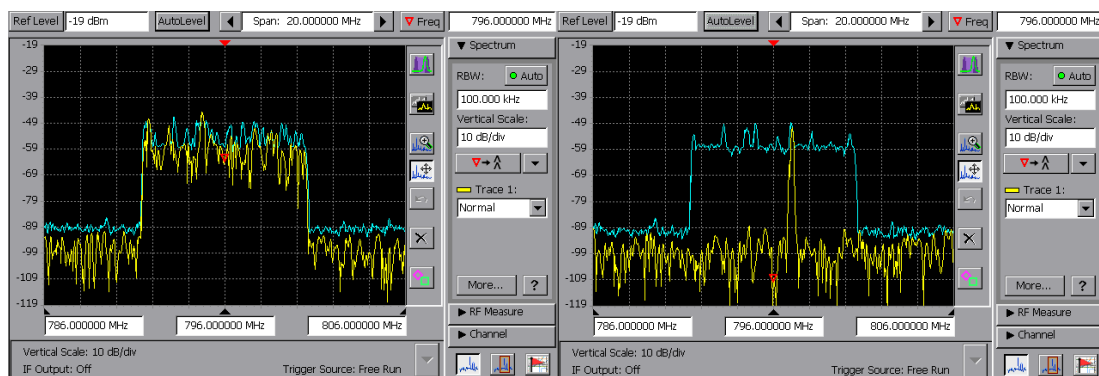


Fig. 4-13 – Sinal E-TM 2 análise espectral

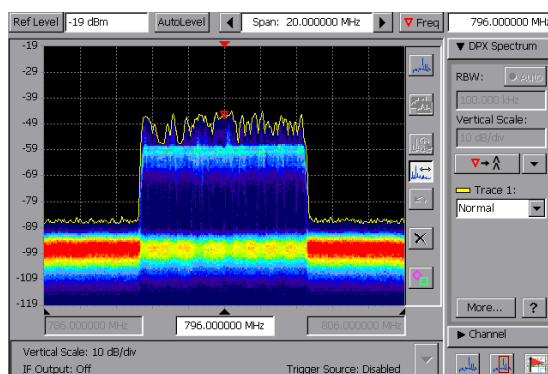


Fig. 4-14 – Sinal E-TM 1.2 análise em tempo real

Com este sinal de teste é perfeitamente visível que a medição de acordo com a recomendação não permite identificar o comportamento que é evidenciado no analisador em tempo real, no qual se vê facilmente que os níveis de sinal estão, em média, bastante abaixo do que se observa na Fig. 4-15.

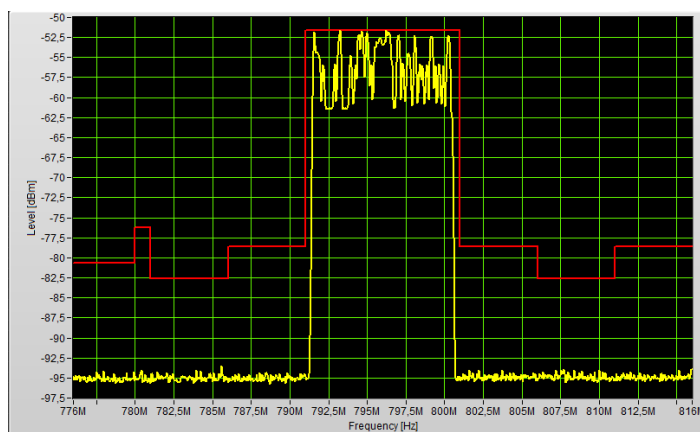


Fig. 4-15 – Sinal E-TM 1.2 medido e máscara BEM

#### 4.1.2.4 Sinal de Teste E-TM 3.1

Por fim, o sinal E-TM 3.1, usado para testes de potência.

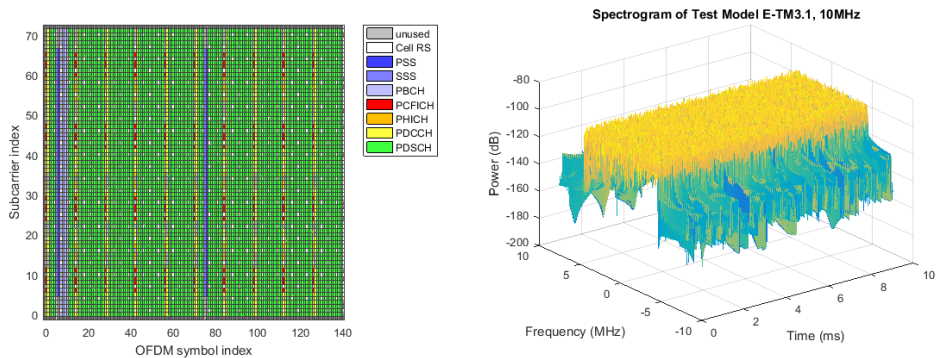


Fig. 4-16 - Sinal E-TM 3.1 definido pela ETSI TS 136 141

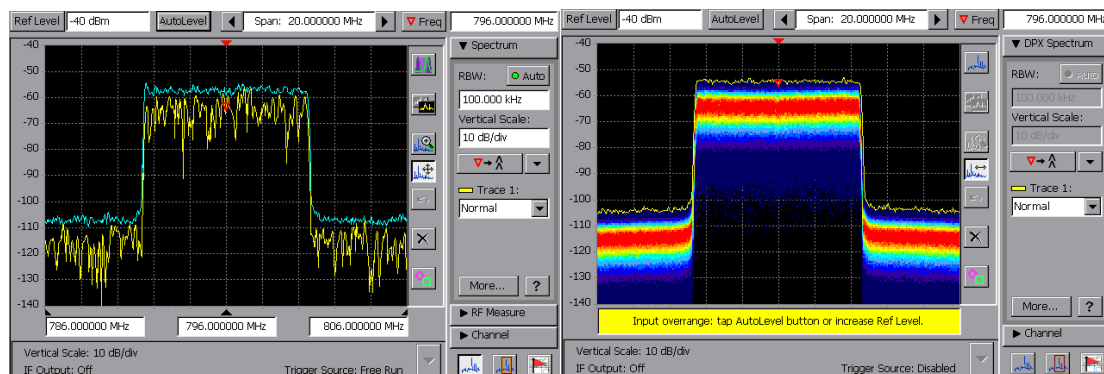


Fig. 4-17 – Sinal E-TM 3.1 análise espectral e em tempo real

Novamente, verifica-se que o sinal medido também corresponde ao esperado, cumprindo a máscara BEM.

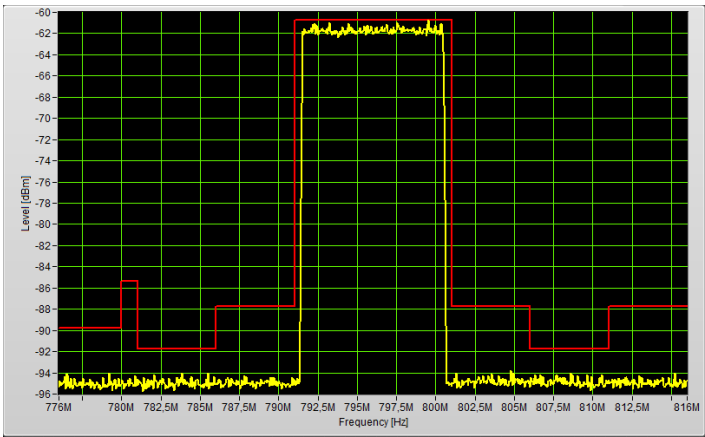


Fig. 4-18 – Sinal E-TM 3.1 medido e máscara BEM

4.1.3 Vantagens e Desvantagens

O método proposto na recomendação ECC/REC(11)06 apresenta as seguintes vantagens e desvantagens:

Vantagens
a) A medição pode ser realizada com recurso a um equipamento mais simples e, conseqüentemente, de menor custo;
b) A medição não necessita de conhecimentos matemáticos e de processamento de sinal muito avançados;
c) O programa de controlo e de avaliação da máscara BEM é de pequena complexidade.
Desvantagens
d) É um processo muito demorado, dura cerca de 25,5 segundos por MHz, o que, numa faixa de 90 MHz para avaliação, resultaria em 38 minutos de medição, apenas um único sinal LTE;
e) A medição não traduz o comportamento real do sinal, ignorando dinâmicas transitórias presentes nos sinais LTE;
f) A medição pode negligenciar eventos pontuais/espórâdicos que poderiam, caso fossem detetados, impedir a validação dos limites máximos admissíveis impostos pela máscara BEM a um sinal LTE;

Tabela 4-2 – Vantagens e Desvantagens do método pela ECC REC(11)06

4.2 Proposta de Melhoramento da ECC REC(11)06

Neste ponto, propor-se-á um método de medição alternativo, que visa contribuir para o melhoramento da recomendação ECC REC(11)06 [6], começando-se por descrever toda a sua base teórica, o programa de análise implementado em linguagem LabVIEW, os resultados obtidos e a comparação deste método com a solução atualmente considerada na recomendação em apreço.



Uma condicionante à realização desta dissertação prendeu-se com a dificuldade em aceder a equipamentos de análise em tempo real, dado apenas existirem duas unidades disponíveis, e as mesmas estarem habitualmente a ser utilizadas em funções externas de análise e controlo do espectro radioelétrico, assim como, o gerador de sinais vetoriais fazer parte de um sistema complexo relacionado com medições EMC que habitualmente estava a ser utilizado.

#### 4.2.1 Descrição do Método

Na sequência da tese de doutoramento [3], em que são evidenciadas as fragilidades das análises tradicionais no domínio da frequência, com recurso à análise espectral obtida a partir de analisadores de espectro convencionais ou equipamentos semelhantes, em contraponto com as análises no domínio misto tempo-frequência, verificando-se que, estas últimas, são uma alternativa viável à análise tradicional, com a vantagem de ser muito mais rápida e poder capturar comportamentos dinâmicos dos sinais de LTE que, no caso tradicional, seriam ignorados ou negligenciados, caso ocorram fora da fatia de espectro respetiva de 50 kHz que esteja a ser analisada.

Uma vez que toda a análise matemática relevante para o estudo da solução alternativa está perfeitamente e detalhadamente explicado na tese de doutoramento do Dr. José Pedro Matias Borrego [3], efetuar o mesmo estudo detalhado neste documento seria uma mera repetição, pelo que o autor remete esse estudo para o referido documento.

Em [3], é são estudadas diferentes transformadas no domínio misto tempo-frequência, nomeadamente:

- *Short-Time Fourier Transform* (STFT) com 17 janelas distintas;
- Transformada de Gabor (STFT com uma janela Gaussiana);
- Distribuição de Wigner-Ville.

Nessa análise em concreto, para identificar qual a melhor técnica no domínio do tempo-frequência, foram realizadas inúmeras simulações, executadas automaticamente pelo programa desenvolvido em conjunto pelo Dr. José P. Borrego e o

autor da presente dissertação, tendo-se concluído que a transformada que apresenta melhor desempenho no domínio tempo-frequência, para a análise pretendida, é a seguinte:

Transformada:	<i>Short-Time Fourier Transform (STFT)</i>
Janela:	Retangular
<i>Window Length:</i>	2048 ou 4096
<i>Frequency Bins:</i>	512 a 2048

Tabela 4-3 – Transformada escolhida e suas características

## 4.2.2 Implementação e Testes

### 4.2.2.1 Programa de verificação da conformidade do sinal com a máscara BEM para efeitos de estudo

O programa desenvolvido, em linguagem LabVIEW, para estudar e testar a validação de sinais LTE, através da análise matemática desses sinais e posterior verificação da sua conformidade com a respetiva máscara, no âmbito da tese de doutoramento [3] serviu de base ao programa específico de análise que foi adaptado e proposto nesta dissertação, organizando-se em três fases:

1. Configuração dos parâmetros de análise;
2. Geração da *Block Edge Mask*;
3. Resultados

Na primeira fase, onde é feita a configuração dos parâmetros da medida, é possível escolher os sinais a serem analisados (a partir de ficheiros do tipo .mat, obtidos através de um analisador em tempo real), conforme ilustrado na Fig. 4-19:

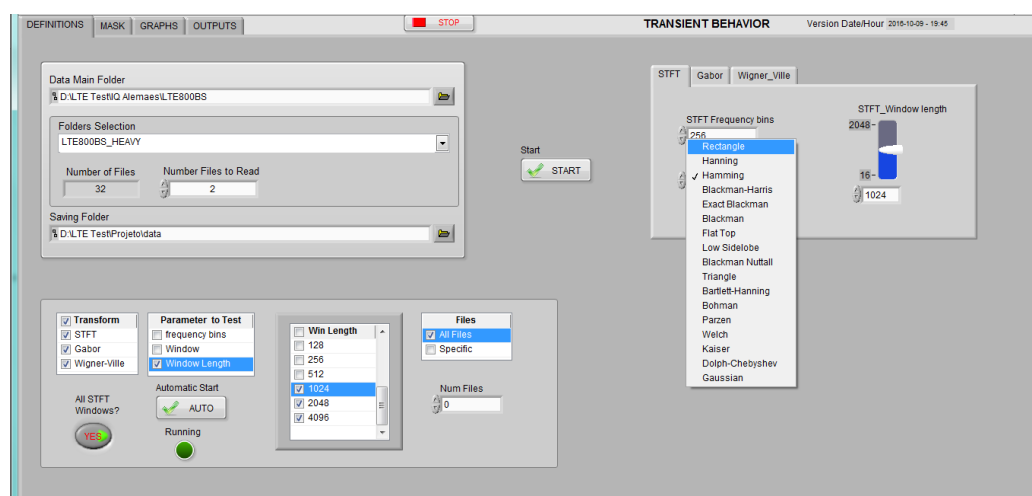


Fig. 4-19 – Página da configuração geral

Adicionalmente é possível escolher qual a transformada a ser aplicada, de entre a STFT com 17 janelas diferentes, a transformada de Gabor (STFT com janela Gaussiana) e a Distribuição Wigner-Ville.

Para a STFT e transformada de Gabor é ainda necessário definir o número de *frequency bins*, ou seja, o parâmetro que define o tamanho do bloco da FFT e representa o número de *bins* ao longo do eixo da frequência. É, ainda, necessário definir o comprimento da janela, isto é, o comprimento, dado pelo número de amostras (*samples*) da janela deslizante, que controla a relação entre a resolução no tempo e a resolução em frequência<sup>8</sup>.

Para a transformada de Gabor, o tipo de janela já se encontra definido, é a Gaussiana, enquanto que, para a STFT, se poderão escolher diversas janelas.

Todas estas ferramentas de cálculo matemático foram implementadas com recurso à biblioteca de blocos do LabVIEW, *Advanced Signal Processing Tools* [31].

No caso da Distribuição Wigner-Ville, apenas é necessário definir o número de *frequency bins*, dado tratar-se de uma transformada quadrática, independente de eventuais funções de janela.

Também está disponível a funcionalidade de cálculos sequenciais automáticos, para cada uma das transformadas, ou, se se quiser, para todas, de um ou até todos os parâmetros de seleção, desde que necessários para cada uma das transformadas em particular e se estes cálculos se aplicam a um ou vários ficheiros. Com esta

---

<sup>8</sup> Janelas largas permitem uma maior resolução em frequência mas pior em resolução no tempo e vice-versa.

funcionalidade é possível efetuar um número considerável de simulações de modo automático, ficando os resultados registados em ficheiros.

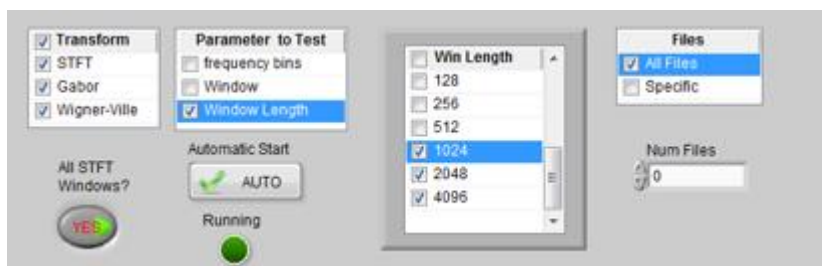


Fig. 4-20 – Página da definição das medições automáticas

De notar que, por imperativos de gestão de memória do computador utilizado para a programação, e execução do programa de verificação da conformidade do sinal com a máscara BEM, foi necessário dividir os ficheiros originais do tipo .mat em ficheiros mais pequenos, procedendo-se à análise dos sinais por etapas sequenciais.

Na segunda fase é gerada a máscara BEM, o que, no caso da STFT e da transformada de Gabor, resulta da aplicação direta dos valores constantes na recomendação ECC/REC(11)06, tendo em conta o seu método de construção, PIRE esperada e as diferentes condicionantes identificadas na referida recomendação, conforme descrito no Capítulo 2.

No respeitante à Distribuição Wigner-Ville, o processo é mais complexo e sai do âmbito deste documento, pelo que se aconselha a consulta de [3].

Por fim na terceira fase encontramos a visualização de diferentes parâmetros de análise do sinal LTE testado, assim como, o número de violações da máscara BEM aplicada, indicando-se as respetivas ocorrências na representação gráfica do sinal (espectrograma). Dada esta fase ser igual à do programa de análise proposto nesta dissertação, será analisado mais à frente.

#### 4.2.2.2 Programa de verificação da conformidade do sinal com a máscara BEM proposto

Uma vez que o autor desta dissertação colaborou ativamente, em parceria com o Dr. José P. Borrego, no âmbito da tese de doutoramento [3], no desenvolvimento do

programa de teste e no estudo de validação de máscaras BEM, procedeu-se à adaptação desse programa, simplificando-o e limitando-o, de modo a executar o processo de verificação da conformidade do sinal em análise com a correspondente máscara BEM, recorrendo apenas à aplicação da *Short-Time Fourier Transform* (STFT), com janela Retangular.

O programa agora proposto para a verificação da conformidade dos sinais de LTE proposto nesta dissertação, está também organizado em três fases, as quais iremos detalhar e que são:

1. Configuração dos parâmetros de análise;
2. Geração da *Block Edge Mask*;
3. Resultados da análise.

#### 4.2.2.2.1 Fase 1 - Configuração dos parâmetros de análise

A página inicial do programa corresponde à seleção e definição dos parâmetros iniciais de análise, respeitantes à STFT, sendo a primeira a ser visualizada, conforme ilustrado na Fig. 4-21 – Página inicial.

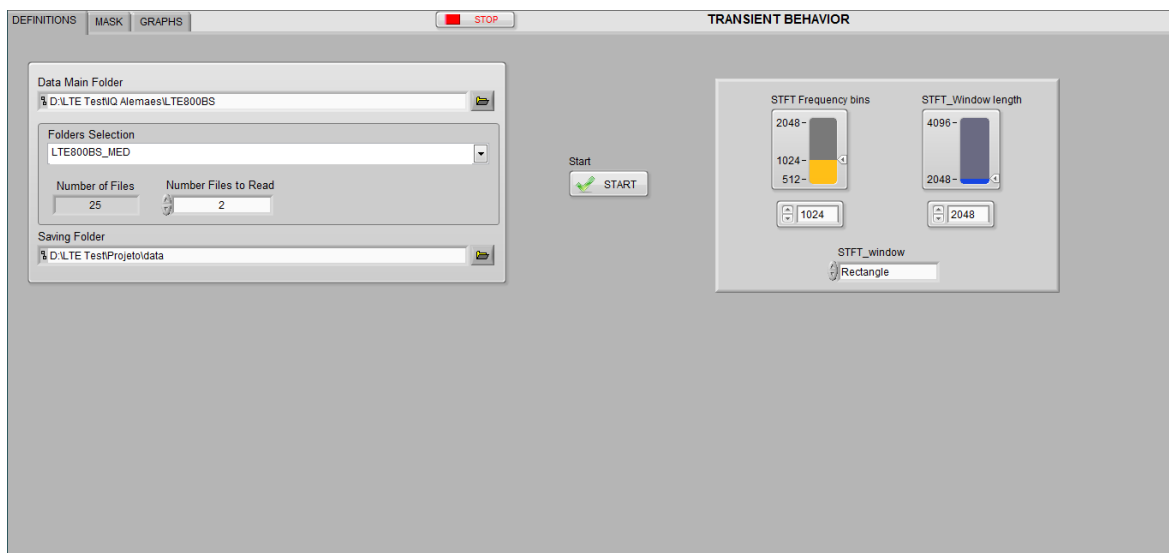


Fig. 4-21 – Página inicial de configuração do programa

Devido aos condicionalismos de memória, bem como, da gestão de memória do próprio *software* LabVIEW, foi, como se disse, necessário dividir os ficheiros noutros mais pequenos, com um tamanho máximo de 10 a 15 MB. Na sequência dos testes efetuados, optou-se por efetuar a divisão em subficheiros com tamanhos até 6 MB.

Dado que se utilizaram diferentes computadores, com diferentes tamanhos de memória, foi adicionada uma funcionalidade que permite a leitura de vários ficheiros consecutivos, possibilitando, assim, o ajuste do número de ficheiros, dependendo das características de *hardware* disponíveis no computador utilizado.

Para uma análise total do sinal, bastaria adicionar uma rotina que, automaticamente, fizesse a análise dos diferentes ficheiros e que, no fim, indicasse os resultados globais da análise do sinal e da verificação da conformidade, ou não, deste com a máscara BEM.

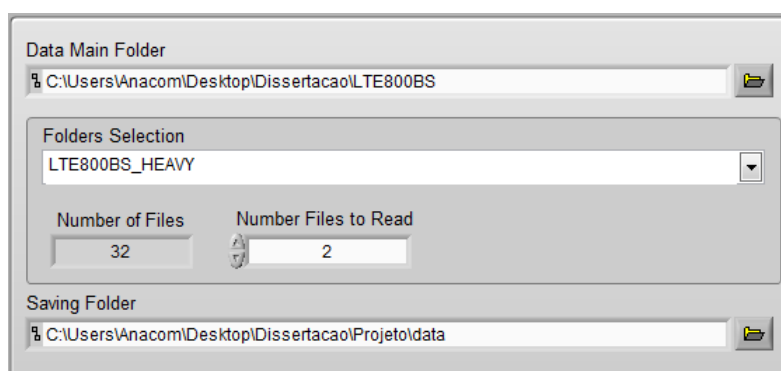


Fig. 4-22 – Seleção dos Ficheiros com os sinais LTE

De seguida, são configurados os parâmetros específicos para aplicação aa STFT, nomeadamente:

**Janela:** Por omissão aplicar-se-á a Retangular;

**Frequency bins:** Este parâmetro define o tamanho dos blocos FFT da STFT e representa o número de *bins* do eixo da frequência em que o sinal será amostrado.

*Window length:* Determina o comprimento da janela deslizante, em número de amostras e controla a relação entre a resolução no tempo e a resolução em frequência. A um grande comprimento de janela corresponde uma melhor resolução em frequência e uma pior resolução no tempo.

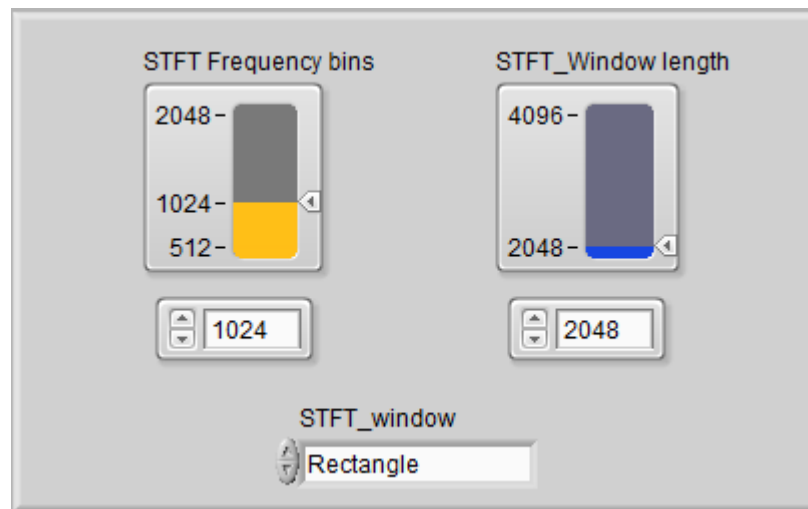


Fig. 4-23 – Configuração dos parâmetros para a STFT

#### 4.2.2.2.2 Fase 2 - Geração da *Block Edge Mask*

Nesta página são definidos os parâmetros de ajuste da máscara BEM, que na presente versão do programa está limitada aos 30 MHz centrais, no entanto, será facilmente expansível, bastando permitir a definição do tamanho de máscara pretendido, ao qual seriam aplicadas as tabelas constantes na ECC/REC(11)06 [6].

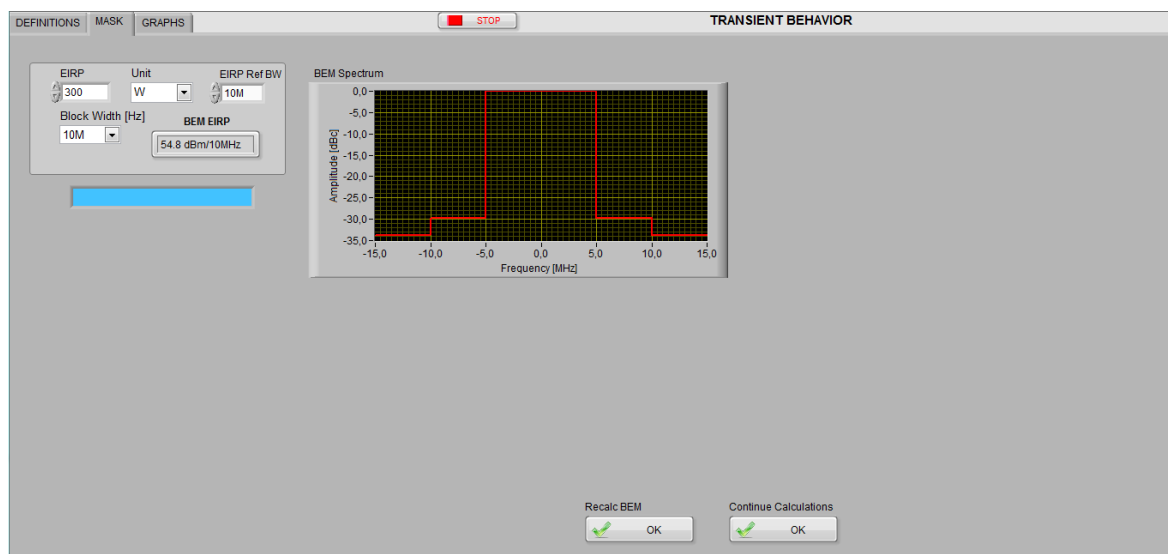


Fig. 4-24 – Página de configuração da máscara BEM

Decorrente do modo como a máscara BEM é calculada para o caso dos sinais LTE800, é necessário indicar a PIRE da estação de base LTE (EIRP) e a largura de banda de referência (EIRP Ref BW) e o tamanho do bloco de espectro atribuído ao operador (*Block Width*). Com esta informação, pode então gerar-se a máscara BEM.

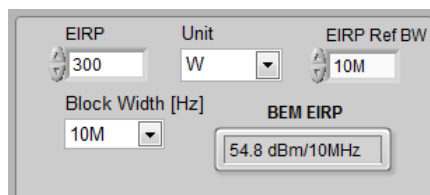


Fig. 4-25 – Configuração dos parâmetros para construção da máscara BEM

No presente exemplo, é considerada uma PIRE de 300 W e uma largura de banda de referência de 10 MHz (54,8 dBm/10MHz), resultando na seguinte máscara:

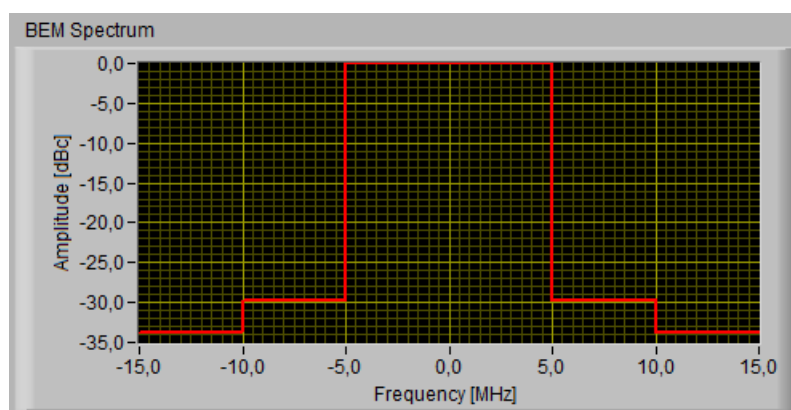


Fig. 4-26 – Máscara BEM para uma PIRE de 54,8 dBm/10MHz



#### 4.2.2.2.3 Fase 3 - Resultados da análise

Estando concluída a fase de construção da máscara BEM, pode então dar-se início à análise do sinal, para verificação da sua conformidade com a máscara BEM respetiva, gerada na fase anterior.

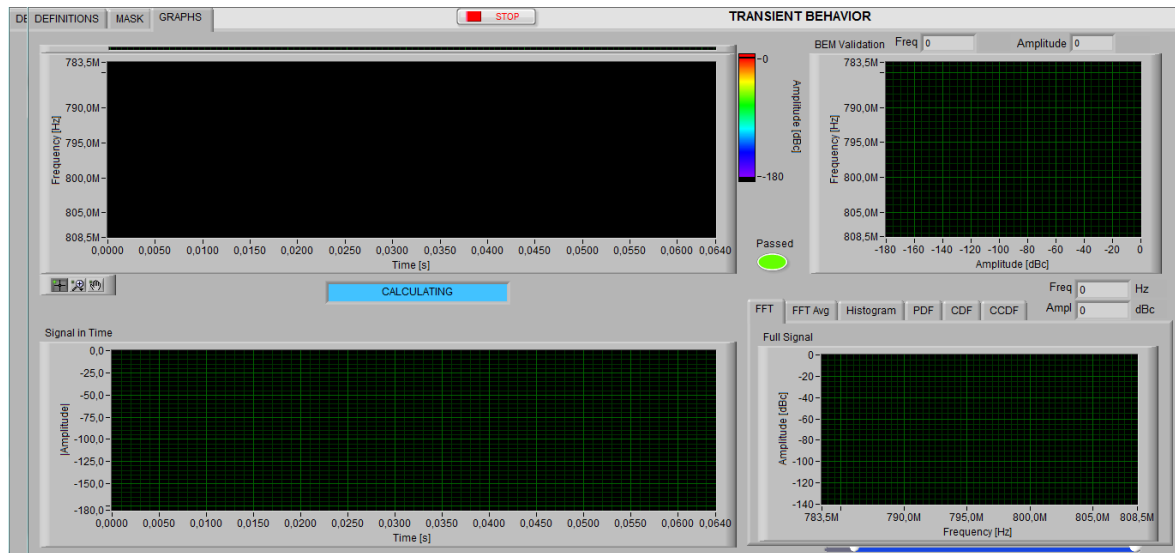


Fig. 4-27 – Página de resultados da análise

Nesta página de resultados, é possível encontrar uma grande variedade de indicadores, desde o espectrograma, à forma de onda temporal, ao espectro num determinado instante, ao espectro convencional e a estatísticas diversas do sinal, nomeadamente, histograma, função densidade de probabilidade (*probability density function* - PDF), função distribuição acumulada (*cumulative distribution function* - CDF) e função distribuição acumulada complementar (*complementary cumulative distribution function* – CCDF).

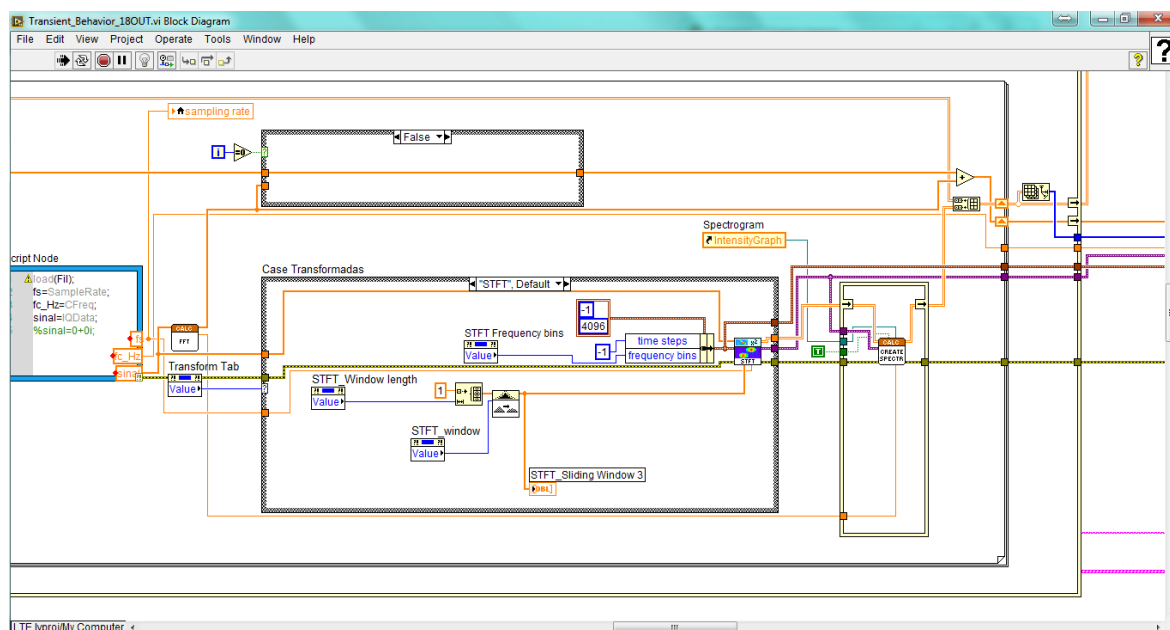


Fig. 4-28 – Parte da programação relativa ao cálculo da STFT

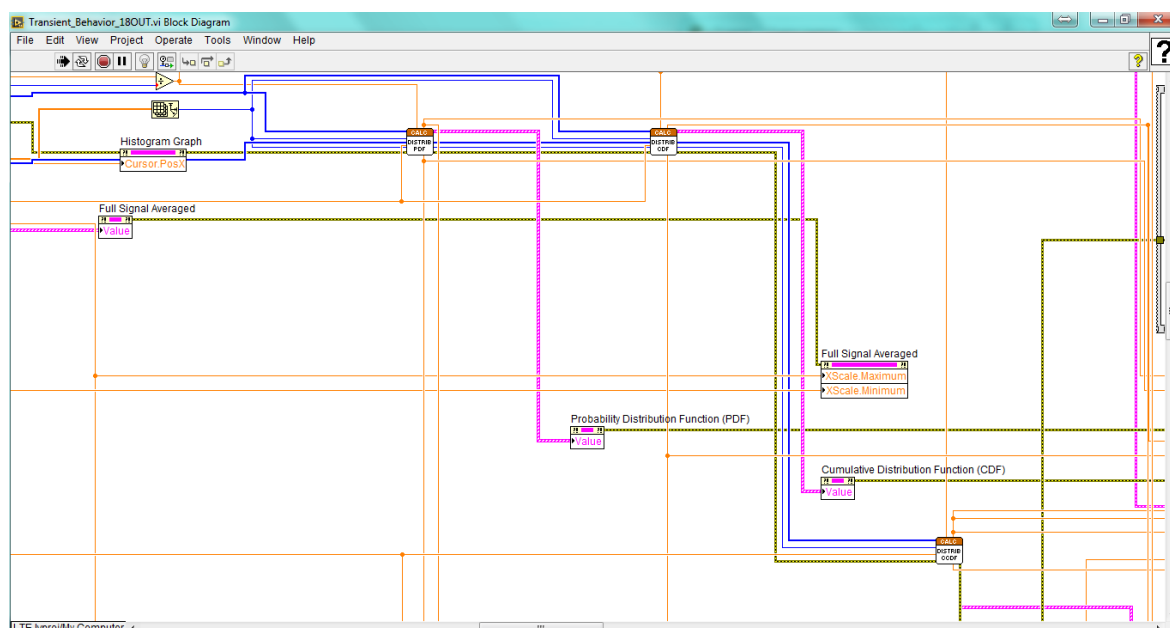


Fig. 4-29 – Parte da programação relativa ao cálculo da PDF, CDF e CCDF

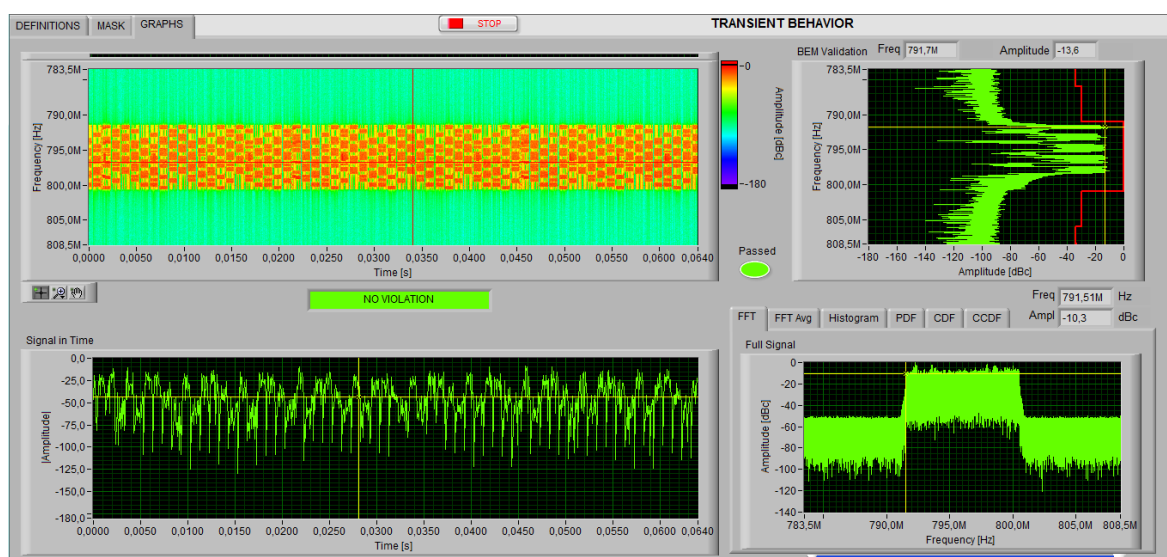


Fig. 4-30 – Página de resultados da análise após conclusão dos cálculos.

No espectrograma, é possível visualizar, de forma direta, o padrão de tráfego, ou seja, como é que ele transmitido, sendo que, neste exemplo, não ocorre violação da máscara BEM. Uma funcionalidade adicional, neste espectrograma, é a possibilidade de efetuar um *zoom* a partes específicas do sinal, para uma análise mais detalhada, garantindo-se, simultaneamente, que as visualizações do sinal ao longo do tempo e do espectro, num determinado instante, também acompanham o *zoom*.


 Fig. 4-31 – Exemplo de *zoom* efetuado no espectrograma

A forma de onda, ao longo do tempo, aqui visualizada (Fig. 4-32), traduz a sua variação temporal para a frequência selecionada pelo cursor.

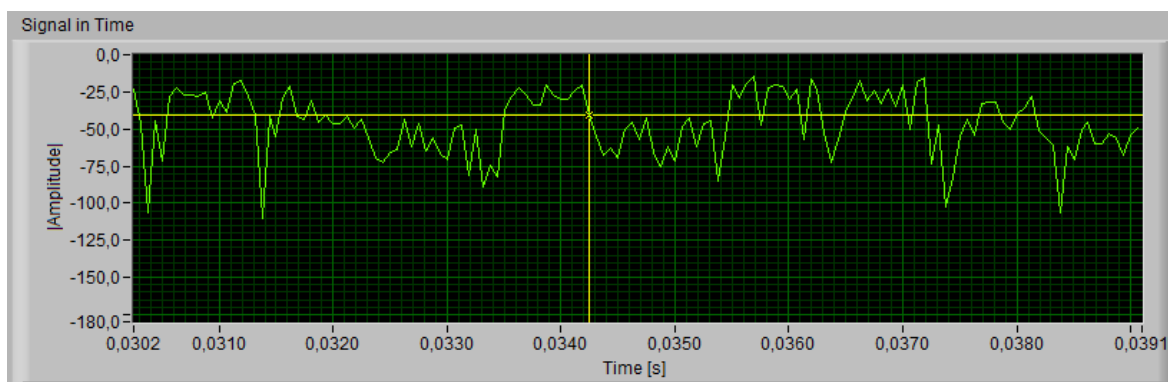


Fig. 4-32 – Forma de onda ao longo do tempo

No gráfico da Fig. 4-33, é possível visualizar o espectro do sinal, no instante selecionado pelo cursor. Assim, caso exista uma violação da máscara, ela será claramente identificada e localizada na “fatia” temporal respetiva.

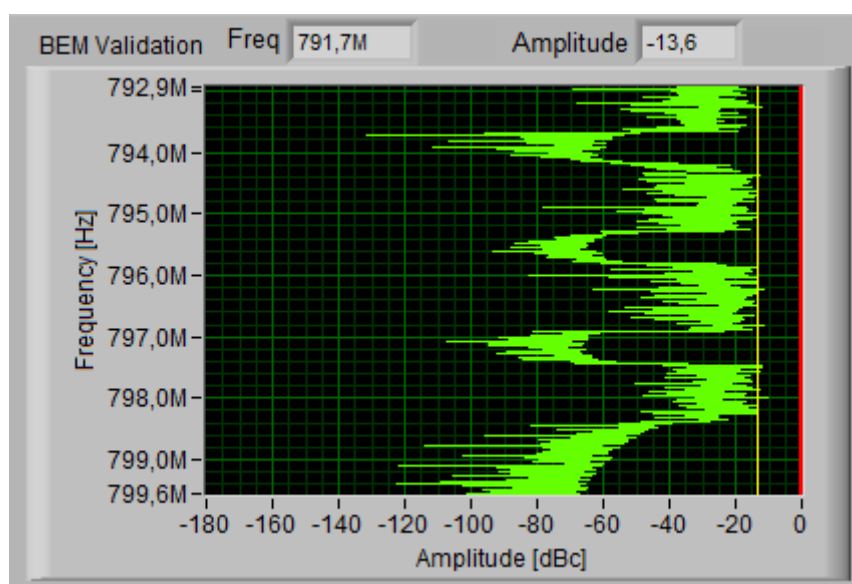


Fig. 4-33 – Espectro do sinal após se ter efetuado um zoom

Também é possível visualizar outros parâmetros, tais como o espectro convencional de todo o sinal em análise, calculado pela FFT, podendo ser “suavizado” pela aplicação de um filtro de média móvel, similar à funcionalidade que um analisador de espectros convencional disponibiliza através da configuração do parâmetro *video bandwidth* (VBW). O número de pontos da média móvel pode ser definido pelo utilizador. Em todos estes gráficos de espectro e estatísticas, é possível aplicar uma função de *zoom*, com recurso aos cursores existentes na parte inferior, bem como, a leitura dos valores da

curva, com recurso ao cursor, surgindo os respetivos valores nos mostradores disponíveis no canto superior direito, os quais se ajustam ao nível da indicação do valor medido e das unidades, consoante o gráfico selecionado.

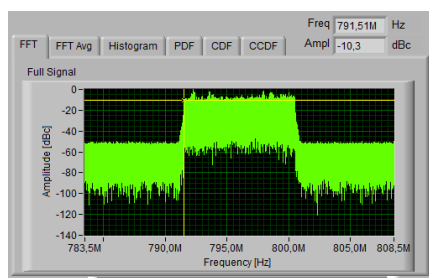


Fig. 4-34 – Espectro do sinal  
(FFT do sinal inteiro)

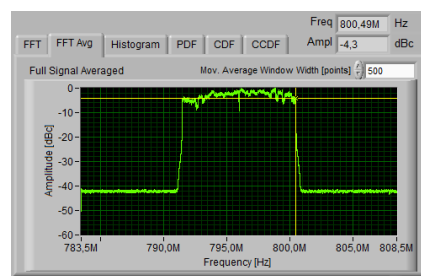


Fig. 4-35 – Espectro do sinal “suavizado”

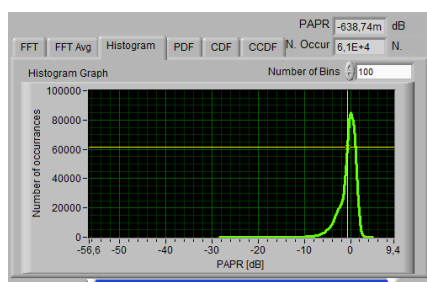


Fig. 4-36 – Histograma do PAPR do  
sinal LTE

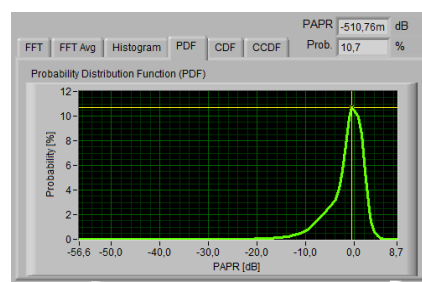


Fig. 4-37 – Função densidade  
probabilidade (PDF)

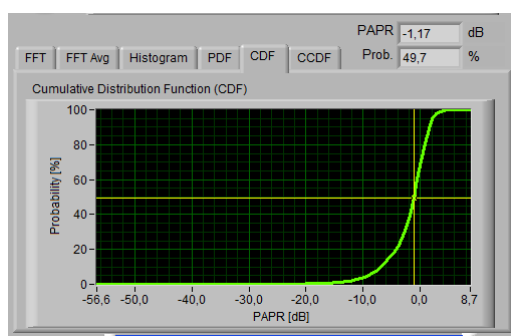


Fig. 4-38 – Função distribuição  
acumulada (CDF)

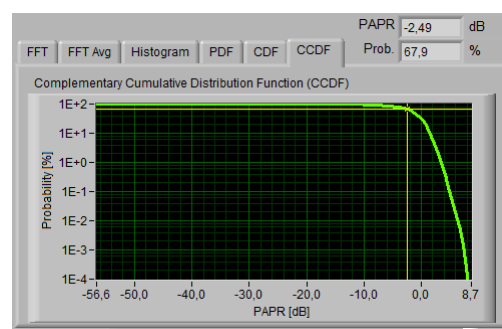


Fig. 4-39 – Função distribuição  
acumulada complementar (CCDF).

Nos casos em que sejam detetadas violações da máscara BEM em validação, o programa indica as respectivas ocorrências através de pontos de sinalização e alarme, de cor vermelha. No caso do espectrograma, na parte inferior, surge a indicação de quantas vezes foi violada a máscara, sendo possível saltar entre cada um dos instantes, usando, para o efeito, os botões que aparecem, possibilitando, ao mesmo tempo, a visualização do espectro do sinal, nesse mesmo instante. De modo a provocar violações da máscara, com os sinais existentes, foi necessário introduzir valores díspares dos que normalmente são considerados, apenas para efeitos de simulação.

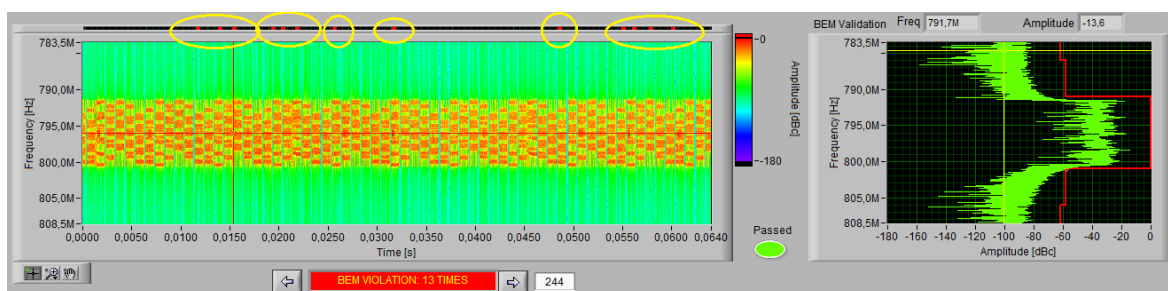


Fig. 4-40 – Espectrograma do sinal com indicação de onde foi violada a máscara BEM

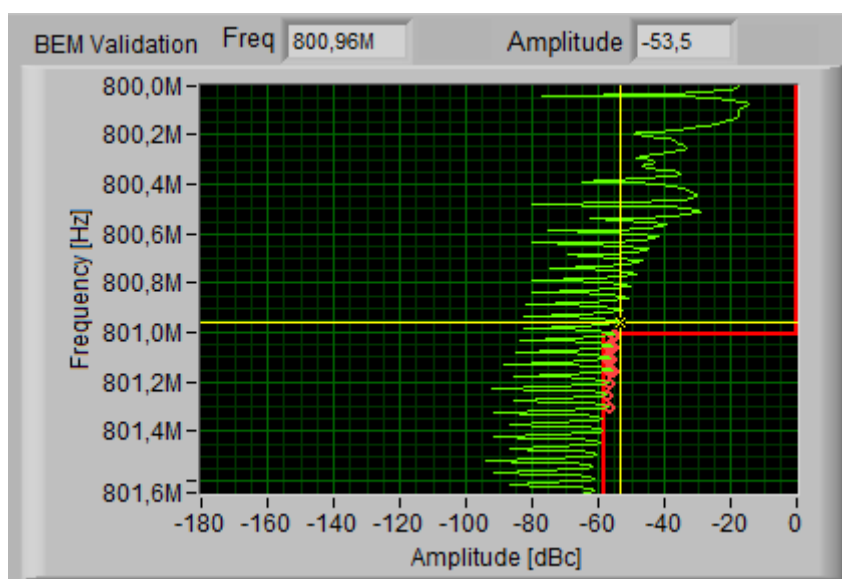


Fig. 4-41 – Espectro do sinal num dos instantes em que foi violada a máscara BEM (detalhe da zona em causa)

#### 4.2.2.3 Casos práticos

Dado não ter sido possível utilizar no decurso da execução da presente dissertação um analisador de espectros em tempo real (RTSA) com a funcionalidade da máscara de frequência, não serão apresentados exemplos práticos deste tipo de análise.

Pode, desde já, referir-se que os sinais de teste, especificados pela norma ETSI TS 136 141 [20], não foram idealizados, nem concebidos, com o intuito de validar máscaras BEM. Além disso, os níveis de sinais usados tiveram que se adequar aos valores máximos admissíveis dos equipamentos de medida, por tais motivos, não se detetaram violações reais da máscara, a menos que se ajustasse o valor de referência das máscaras para os sinais LTE800 com valores irreais.

Todos os testes foram efetuados usando a *Short Time Fourier Transform* (STFT) e com a janela retangular.

#### 4.2.2.4 Sinais de Teste E-TM

De seguida, apresentam-se alguns exemplos de análise com os sinais E-TM, disponíveis no gerador de sinais vetoriais disponível.

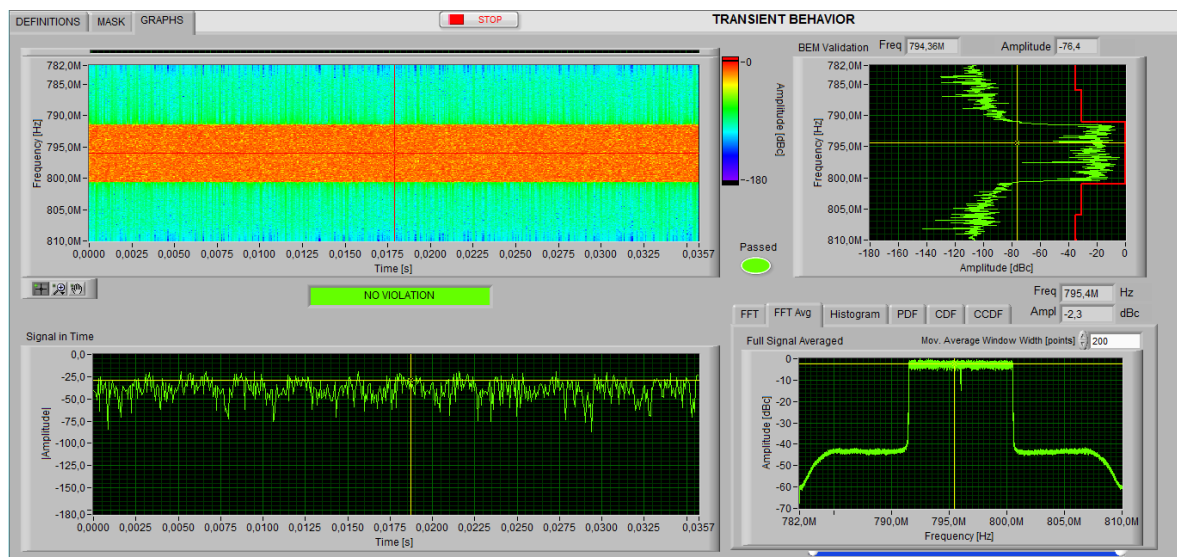


Fig. 4-42 – Análise do sinal de teste E-TM 1.1, com *frequency bins* = 512 e *window length* = 4096



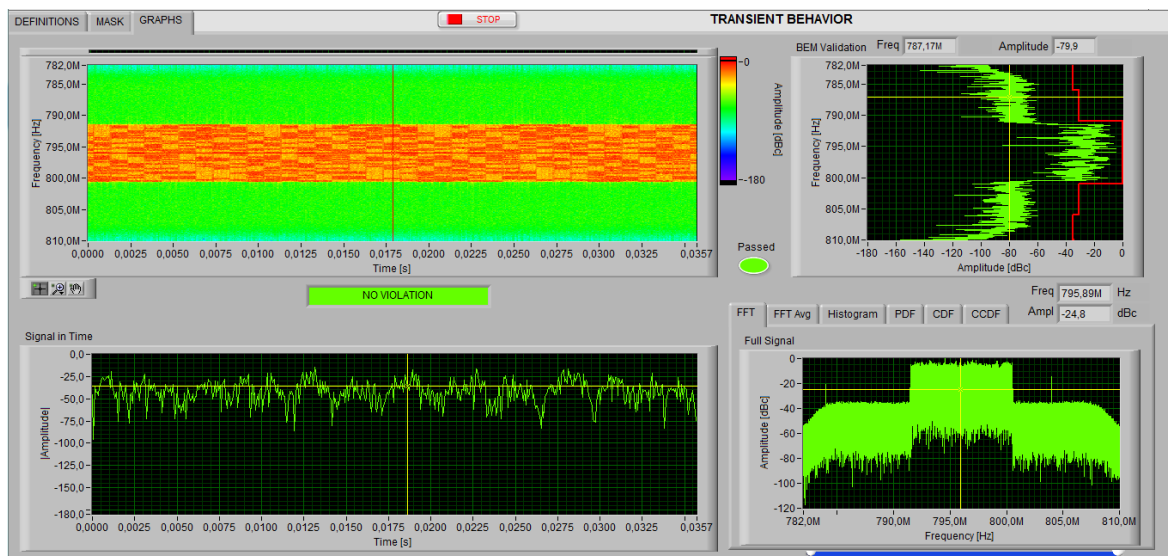


Fig. 4-43 – Análise do sinal de teste E-TM 1.2, com *frequency bins* = 1024 e *window length* = 2048

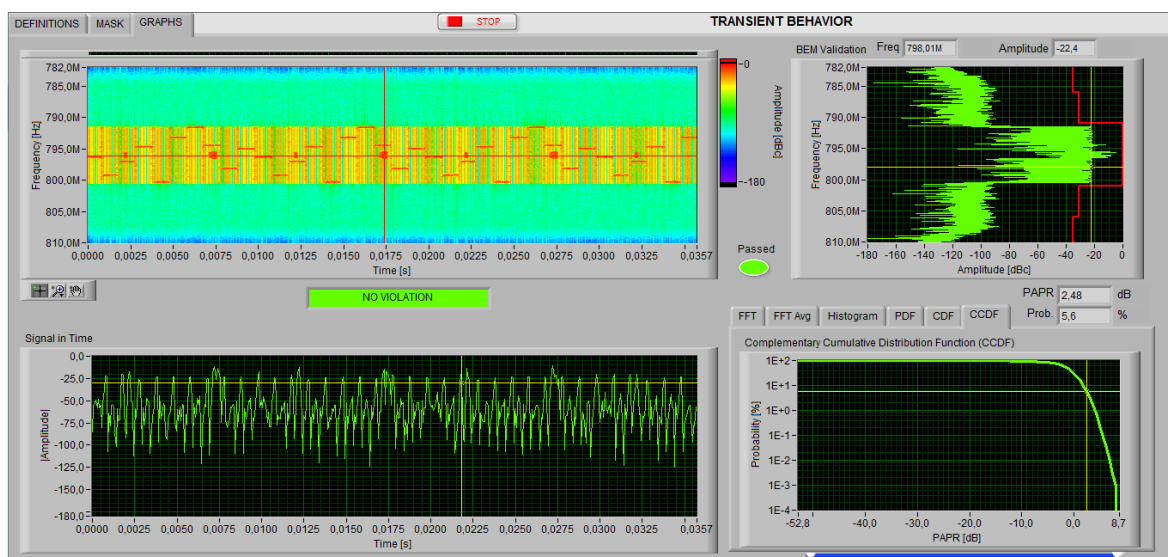


Fig. 4-44 – Análise do sinal de teste E-TM 2, com *frequency bins* = 2048 e *window length* = 4096





Fig. 4-45 – Análise do sinal de teste E-TM 3.1, com *frequency bins* = 512, *window length* = 2048 e *zoom* do espectrograma.

Como se pode observar nos diversos exemplos para cada um dos sinais E-TM, além da visível variação da carga de dados do sinal, em nenhum dos casos ocorre a ultrapassagem dos valores definidos como limite para a máscara BEM.

#### 4.2.2.5 Sinais Reais LTE800

Adicionalmente, foram também usadas três amostras de sinais reais de LTE800, adquiridos por um equipamento RTSA da Tektronix™, modelo RSA6114A, facultados por um organismo regulador Europeu congénere.

Em particular, estes sinais transportam diferentes quantidades de tráfego, mais concretamente, bastante, médio e sem tráfego de dados. Contrariamente aos sinais E-TM, adquiridos por um equipamento RTSA também da Tektronix™, modelo H500, em que a duração máxima era de 35,7 ms, por limitações de memória e capacidade do equipamento, os sinais de testes, agora em análise, exibem tempos de duração de cerca de 1 segundo.

A dimensão temporal da análise destes sinais de teste agora considerados dependeu apenas da capacidade de memória do computador utilizado e dos limites do *software* LabVIEW usado para o programa de análise.

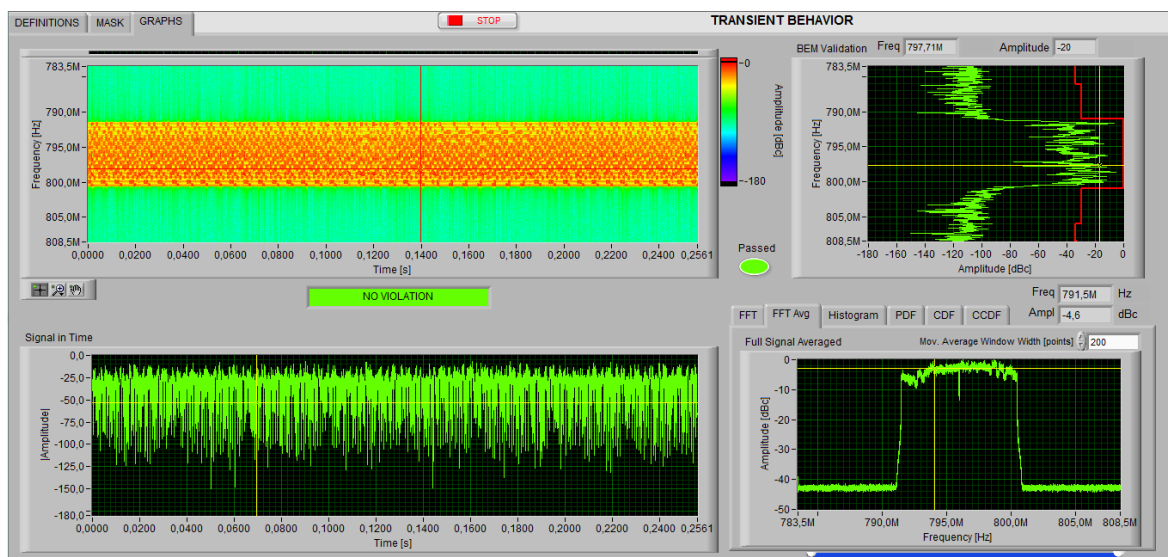


Fig. 4-46 – Análise do sinal com muito tráfego, com *frequency bins* = 512 e *window length* = 2048.

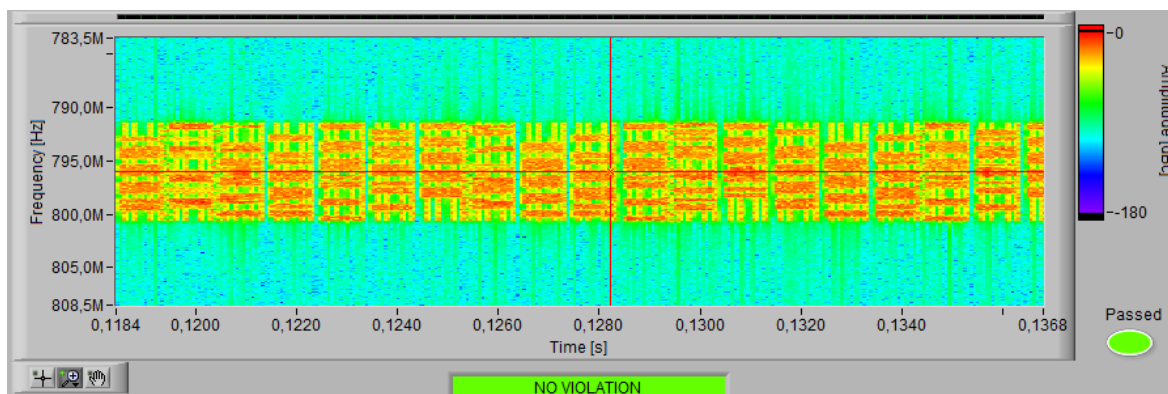


Fig. 4-47 – Zoom do espectrograma para visualização mais pormenorizada do sinal com muito tráfego.

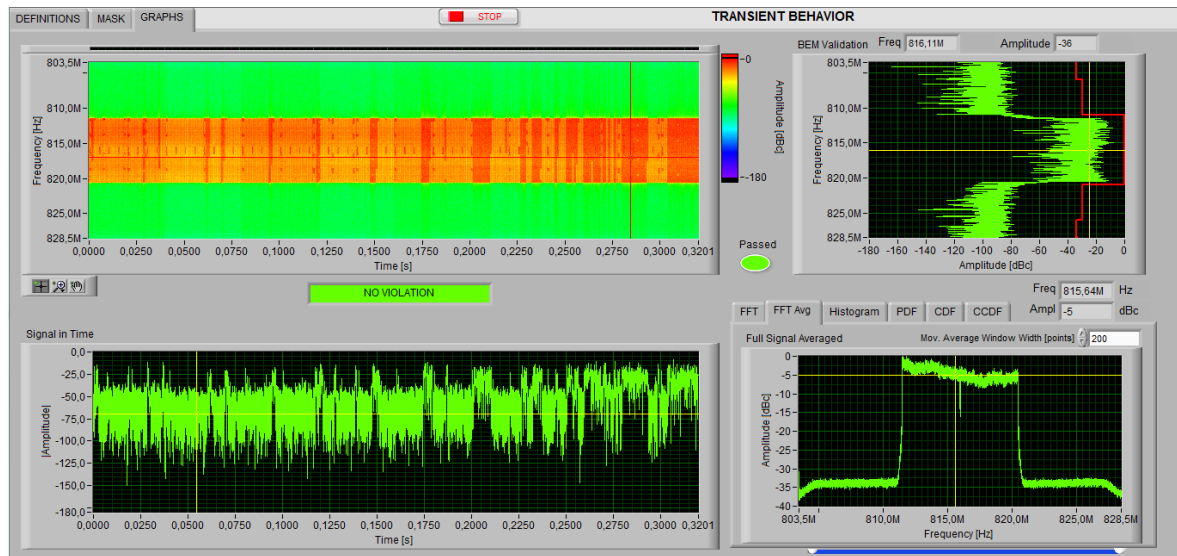


Fig. 4-48 – Análise do sinal com tráfego médio, com *frequency bins* = 2048 e *window length* = 2048.

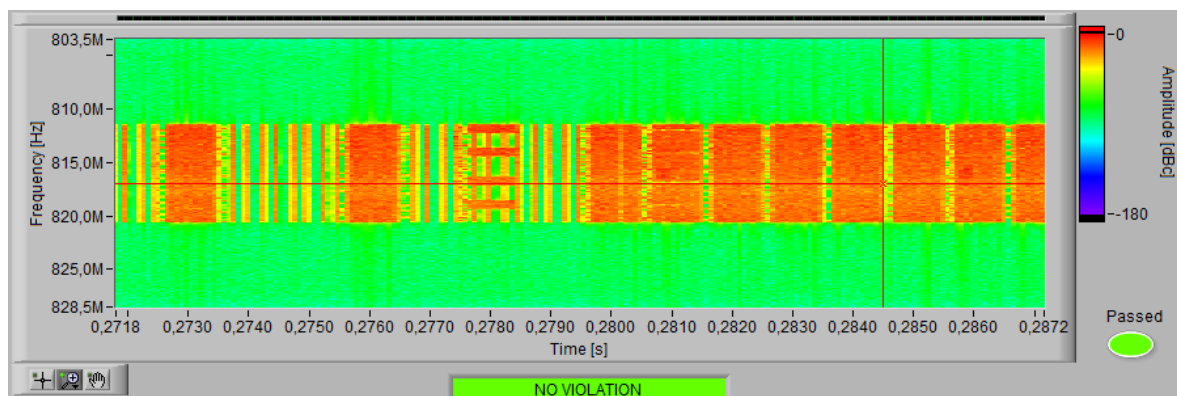


Fig. 4-49 – *Zoom* do espectrograma para visualização mais pormenorizada do sinal com tráfego médio.

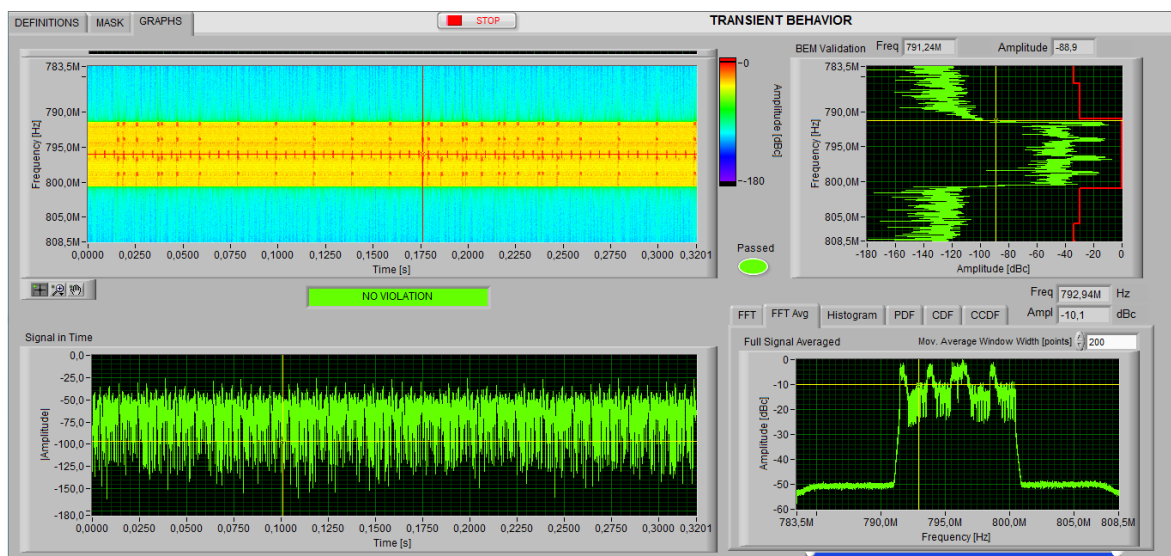


Fig. 4-50 – Análise do sinal sem tráfego, com *frequency bins* = 1024 e *window length* = 4096.

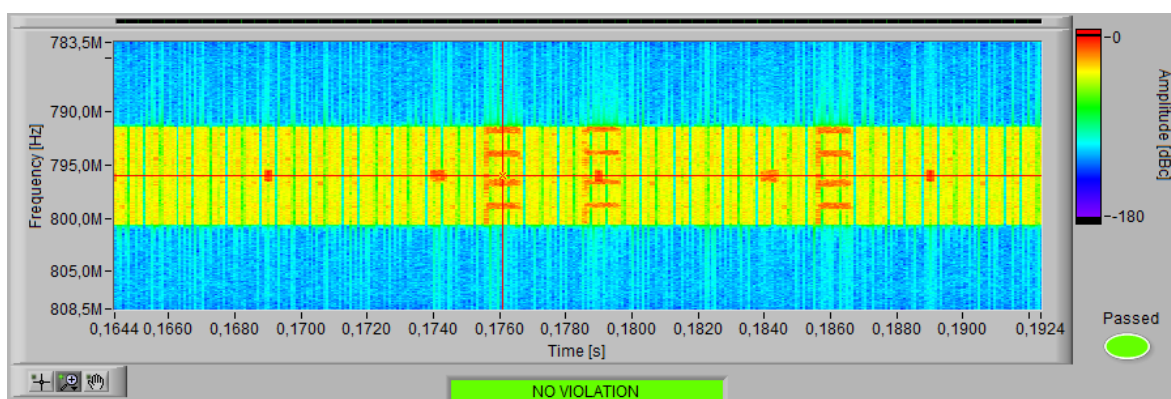


Fig. 4-51 – Zoom do espectrograma para visualização mais pormenorizada do sinal sem tráfego.

### 4.2.3 Vantagens e Desvantagens

O método proposto para melhoramento da recomendação ECC/REC(11)06 [6] apresenta as seguintes vantagens e desvantagens (Tabela 4-4).

<b>Vantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caso exista capacidade de definição de máscaras em frequência é um processo de validação imediato, uma vez que assim que sejam ultrapassados os limites da máscara o equipamento sinalizará tais eventos;</li> <li>• A medição traduz o comportamento real do sinal;</li> <li>• A medição não perde eventos pontuais/esporádicos que poderiam, caso fossem detetados, impedir a validação do sinal LTE pela máscara BEM durante o tempo de análise.</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caso não exista capacidade de definição de máscaras em frequência é necessário adquirir uma amostra de sinal que será posteriormente tratada e analisada;</li> <li>• A medição deve ser executada com um equipamento complexo, de custo elevado, e nem sempre disponível;</li> <li>• A medição necessita de conhecimentos matemáticos e de processamento de sinal avançados;</li> <li>• O programa de controlo e de avaliação da máscara BEM é de grande complexidade, pelo que, é necessária grande capacidade de cálculo.</li> </ul>

Tabela 4-4 – Vantagens e Desvantagens do método proposto

### 4.3 Detecção de Interferências no sinal de LTE

Uma outra funcionalidade do procedimento de validação da máscara BEM é a deteção se sinais interferentes que possam estar a causar problemas ao sinal de LTE.

Nas situações em que esteja a ocorrer uma interferência provocada por um sinal de muita curta duração, tal como já se concluiu no ponto 4.1.3, o método tradicional de medição com um analisador de espectros dificilmente permitirá os monitorar.

Através do método proposto neste documento será possível detetar os sinais interferentes que perturbem o sinal original e simultaneamente sejam mais fortes do que o sinal de LTE, de modo a que por tal facto motivem a violação da máscara BEM, podendo a sua duração ser tão pequena quanto a resolução temporal resultante dos parâmetros de cálculo da FFT do sinal.

Nestas situações em que o que está em causa é a deteção de perturbações no sinal, a máscara deverá ser ajustada o mais possível à envolvente do sinal, de modo a que o

sinal original não ultrapasse os limites da BEM, permitindo assim maximizar as hipóteses de deteção do sinal interferente.

Apresenta-se de seguida dois exemplos de interferências detetadas, sendo uma no caso de a perturbação estar imediatamente no início da zona *out-of-block* (Fig. 4.52).

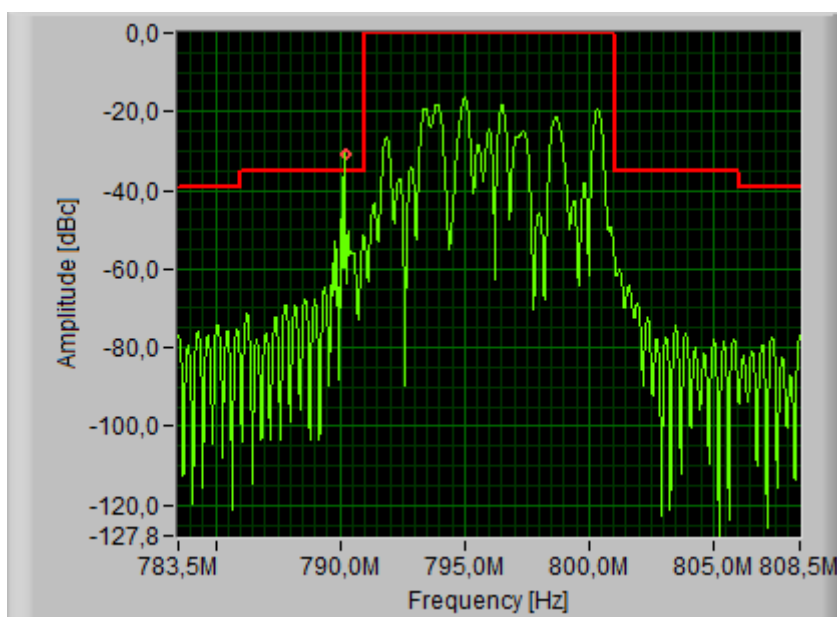


Fig. 4.52 – Deteção de Interferência por violação da BEM – Exemplo 1.

Com a segunda interferência pretende-se mostrar a situação em que o sinal interferente sobressaia da envolvente esperada do sinal de LTE (Fig. 4.53).

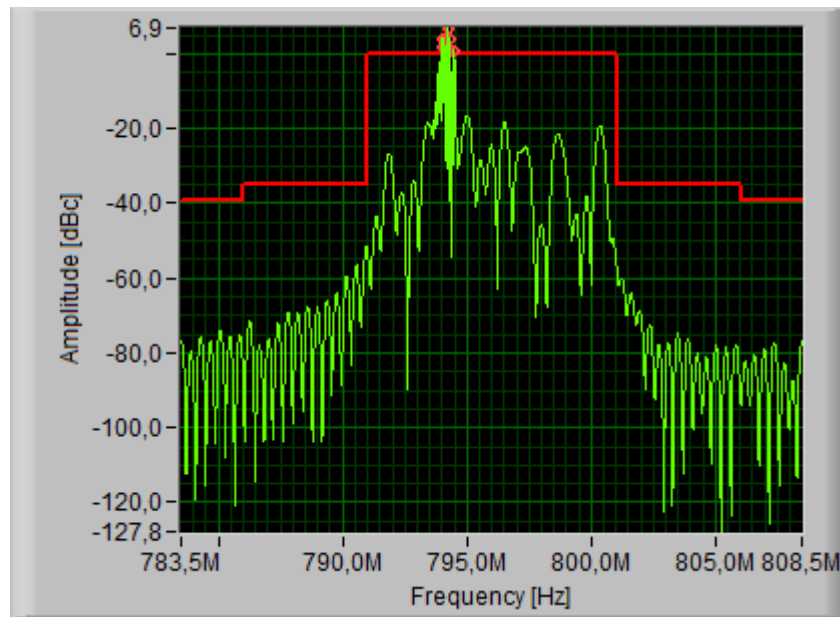


Fig. 4.53 – Detecção de Interferência por violação da BEM – Exemplo 2.

PÁGINA EM BRANCO



## 5 Conclusões

### 5.1 Comparação dos Métodos

A recomendação ECC/REC(11)06 - *Block Edge Mask Compliance Measurements for Base Stations* [6] propõe um método de medição e validação da BEM do sinal LTE, com recurso a um analisador de espectros tradicional, o qual, apesar de continuar a ser um excelente tipo de equipamento para sinais que se mantêm constantes, ou muito semelhantes, ao longo do tempo. No entanto, o sinal LTE possui uma “carga” muito dinâmica, ou seja, podem haver períodos com muitos dados a serem entregues aos equipamentos terminais, mas também podemos ter períodos com muito pouca atividade.

Decorrente desta dinâmica que o sinal de LTE possui, é muito provável que, caso ocorra uma violação ocasional dos limites impostos por uma qualquer BEM, esta não seja identificada pelo processo de medição de saltos de 50 kHz, proposto pela recomendação, ou até mesmo em casos em que ocorram violações periódicas mas que por coincidência não aconteçam no período em que o analisador de espectros esteja a medir essa faixa de 50 kHz.

Complementarmente, medir um sinal com uma largura de banda da ordem dos MHz, em saltos sequenciais de 50 kHz, é um método lento, que irá demorar alguns minutos, aconselhando-se a que este processo seja efetuado com auxílio de um procedimento automatizado de controlo e recolha dos dados.

Conforme descrito, facilmente se verifica que, nos casos em que se pretenda avaliar um sinal de LTE, face à sua variação muito dinâmica da carga, o analisador de espectro

já não será o equipamento mais adequado pois não consegue acompanhar todas as variações do mesmo.

O analisador de espectros em tempo real (*Real Time Spectrum Analyser* – RTSA), usa técnicas de análise de FFT, com recurso a processadores muito rápidos que permitem uma análise contínua do sinal, por oposição aos SA e VSA em que há períodos em que o sinal não é observado dado o equipamento estar a fazer processamento, enquanto que os RTSA permitem efetuar a aquisição e cálculo de dados em paralelo. Na prática, o equipamento está permanentemente a amostrar o sinal, enquanto as FFTs estão a ser calculadas por múltiplos processadores em paralelo, normalmente por *Field-Programmable Gate Arrays* (FPGA).

Tipicamente, estas múltiplas FFTs são de facto *Short-Time Fourier Transform* (STFT), que os RTSA implementam na sua forma discreta. Com esta capacidade de cálculo, os RTSA calculam FFTs consecutivas, de tal modo que, em vez de haver períodos em que o sinal não é analisado, agora vamos ter sobreposição de várias janelas de FFT para a mesma amostra de sinal, fazendo com que mesmo eventos transitórios de muita curta duração possam ser efetivamente capturados.

Se, ao RTSA, for adicionada a funcionalidade de definição de uma máscara em frequência, que funcionará como um elemento desencadeador de um evento, sempre que a emissão alvo de medição entra, ou sai, dependendo de como ela é definida, da área da máscara, teremos, não só a deteção imediata de um evento que ultrapasse os limites da máscara, como se permite que o procedimento de medida decorra durante um período de tempo alargado, sem necessidade de guardar o sinal, pois só serão guardadas as amostras dos eventos que, efetivamente, comprometeram os limites impostos pela máscara.

É com base nestas conclusões que se propõe a utilização de uma nova metodologia, a ser usada para a validação da BEM, baseada em técnicas de análise tempo-frequência, a serem incluídas numa proposta de atualização de uma recomendação, de âmbito europeu, a ECC/REC(11)06 - *Block Edge Mask Compliance Measurements for Base Stations*, de modo a que passe a incluir técnicas de análise mais sofisticadas e que permitam a análise do sinal na sua totalidade.

## 5.2 Proposta de melhoramento da ECC REC(11)06

Dado que a ECC *Recommendation* (11)06 é um documento extenso, na sua versão atual, estando, à data da apresentação da presente dissertação em processo de aprovação, para a inclusão da medição das BEM para o LTE700, não se incluirá todo o seu texto neste documento, mas apenas os extratos alvo de alterações, ficando a proposta revista da recomendação em documento anexo.

### 5.2.1 Corpo principal da recomendação

Naquela que é a parte principal da recomendação e a constituinte de todo o seu corpo (não inclui os anexos), encontram-se apenas os “*considering*” e os “*recommends*”, ou seja, os considerandos e as recomendações. Esta parte introdutória é, normalmente, uma das mais curtas, mas das mais sensíveis e mais suscetíveis de eventuais alterações.

Por tal facto, tudo o que se relaciona com métodos de medição e com outros aspetos mais detalhados é colocado em anexos, dado ser mais fácil alterar, remover ou incluir novos anexos, quando estes documentos são analisados pelos grupos menos técnicos, mas com maior poder de decisão, uma vez que se considera que os considerandos lançam as linhas gerais do que é pretendido pelo documento.

Nesta Recomendação, realçam-se algumas considerações em particular, nomeadamente: “...*that BEMs are not intended to replace or relax limits set in dedicated equipment standards, e.g. limits for spurious emissions.*”, para não haver conflitos com outras recomendações ou normas; “...*that this Recommendation is not intended to replace any conformity assessment procedures.*”, para não gerar conflitos com as normas do ETSI e “...*that additional specific methods can be added to the Annexes to this Recommendation.*”, que permite, desde logo, a generalização da recomendação para outras BEM que venham a ser definidas, tal como acontece com o LTE700.

### 5.2.2 Anexo 1 da recomendação

Este primeiro anexo serve para introduzir o conceito das BEM e para descrever algumas considerações genéricas para a verificação e validação das máscaras, que se aplicam, de um modo geral ou particular, aos restantes anexos, os quais são específicos para as correspondentes máscaras.

Para tal, propomos que se acrescente um novo subponto ao capítulo A1.4 MEASUREMENT PRINCIPLE, o A1.4.5.

Neste novo ponto, vamos incluir o conceito de medições por FFT, o qual será feito de forma simples e sem grandes formalismos matemáticos, uma vez que o que habitualmente se pretende, neste tipo de documentos, é que o leitor fique com uma ideia do conceito, o suficiente para poder executar as medições propostas.

Dado já existir um texto trabalhado pelo subgrupo WGFM PT22, que resulta da discussão ocorrida entre diferentes Administrações e dos consensos que se alcançaram, não é necessário introduzir grandes alterações à redação existente nas recomendações ECC Recommendation (06)01 [25], relativa a medições de largura de banda, e a ECC Recommendation (07)01 [26], relativa a medições de frequência, propondo-se adaptações pontuais e cirúrgicas, apenas onde for necessário.

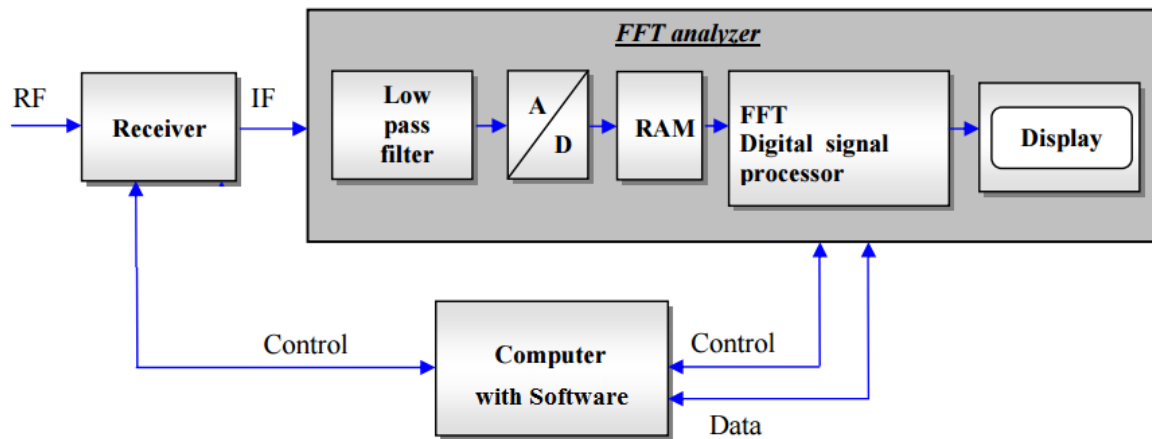
Por fim, esta proposta de revisão da recomendação ECC/REC(11)06 será alvo de alguma discussão entre os delegados dos diferentes organismos reguladores Europeus, carecendo da realização de testes e medições prévios, de acordo com o agora proposto, não sendo de esperar, em face da experiência do autor do presente documento, que a sua aprovação demore menos de um ano, tanto mais que, alguns organismos reguladores preferirão fazer o seu próprio *software* de análise para assim garantirem que o proposto está correto, além de algumas possuírem equipamentos de análise em tempo real de geração mais moderna do que os aqui considerados à data da realização desta dissertação.

**←— Início do texto proposto —→**

A1.4.5 Principle of measurement using FFT techniques

#### A1.4.5.1 Basic system set-up

The following principle components are needed to assess the Block Edge Mask:



The majority of the FFT analyzers apply a zoom in-FFT to magnify the frequency range of interest in cases, when a small frequency band of the spectrum is needed to be analysed.

Zoom in-FFT is a process, in which, the input signal is frequency down converted, decimated and sampled, prior to deliver it into the standard FFT unit. Zoom-FFT operation makes possible to reduce the frequency span, while maintaining a constant centre frequency and focus the measurement anywhere on the analyzer frequency range.

#### A1.4.5.2 Principal elements and component functions

##### A1.4.5.2.1 Receiver

The RF signal is first fed into a receiver that converts the frequency band to be analysed into an IF frequency range that the following A/D converter samples. The IF from the receiver must be in the operating band of the FFT analyzer.

The required dynamic range of the receiver components should be at least 60 dB.

#### A1.4.5.2.2 Low pass filter

For digitizing the IF signal, it must be sampled at regular time intervals. During this process, mixed frequencies that are generated from the input signal and the sampling frequency can fall into the input frequency range of the FFT analyzer, making the measurement result unreliable (aliasing effect).

Therefore, the filter has to be designed such that:

- the IF signal can pass
- the signal components higher than half the sampling rate of the following A/D converter are suppressed.

#### A1.4.5.2.3 A/D converter

The A/D converter converts the amplitudes of the signal in the time domain into a digital data stream. Complete reconstruction of a waveform, for accurate representation of the incoming signal, is only possible with sample frequencies taken at a rate greater than twice the highest frequency component.

#### A1.4.5.2.4 RAM

The sampled data has to be temporarily stored in memory (as a ‘time record’) before the current FFT process can be performed.

#### A1.4.5.2.5 FFT Digital Signal Processor

This component performs the current FFT processing which converts the complete blocks of time records into amplitude versus frequency signals. The resulting spectrum is then mathematically analysed, in the frequency domain, to calculate the characteristic frequency. This calculation can be done in an external computer, preferentially, or in the equipment if there is enough processing capacity.

#### A1.4.5.2.6 Display

In order to obtain valid results, several conditions have to be met in terms of signal-to-noise ratio and interference including multiple signals.

Therefore, the assessment of Block Edge Mask showing only a figure, as a result, are not recommended.

It is necessary to have a software that provides the indication of the compliance or not with the relevant BEM.

#### A1.4.5.2.7 Computer

A computer can be used to store the measurement data and to control the receiver and/or the FFT analyzer and to process the resulting signal.

There are two different stages, in which, signal data could be stored:

- The frequency domain data are stored after the FFT process (i.e. in the frequency domain). This method takes up only little storage space, but later measurements can only be repeated with the same FFT settings.
- The time domain samples of the signal are stored before the FFT process. This method allows later measurements with different FFT settings (acquisition time, resolution), but takes up a very large amount of storage capacity.

Storing the data allows measurements at a later time ('off-line'), making it unnecessary for the operator to wait for temporary emissions to come up, and ease frequency measurements of very short (pulsed) emissions.

#### A1.4.5.2.8 Software

A software program should be used to verify the assessment of the Block Edge Mask, according to the relevant mask. The software will be executed in the computer, or in the receiver equipment if there is enough processing capacity.

The software executes the necessary calculations, using the appropriate transform, window, window length and frequency bins according to the applicable annex.

## FFT Digital Signal processing

### a) Windowing

Since the FFT process considers/analyses a signal only for a limited time (the acquisition time), it assumes the signal to be non-existent or at least periodic outside the calculation 'window'.

This, however, results in certain errors, when in fact the amplitude of the signal is not zero in the beginning and in the end of each time record. To reduce such errors, a filter (so-called window function) has to be applied to the signal.

From the FFT theory, it can be proven that there are no ideal filter which results in an exact reproduction of the signal in the frequency domain. All used windows are optimized for either good amplitude accuracy or good frequency resolution.

The Rectangular window is recommended due to its good frequency response and resolution.

### b) Frequency resolution

To achieve good accuracy, the spectral resolution of the FFT process should be, at least, 512 lines (or more). The required frequency resolution is often determined through the setting of the resolution bandwidth. For a maximum of accuracy, if the FFT resolution is 512 lines, the optimum resolution bandwidth is about 1/500 of the frequency span that is analysed. Higher values for the resolution bandwidth would waste FFT resolution capabilities, smaller resolution bandwidths would only result in slower performance.



c) Time record (acquisition time)

The duration of each time record has to be, at least, as long as the period of the lowest modulating frequency of the signal to be analysed. However, it also depends on the required frequency resolution and on the frequency span. The higher the required frequency resolution and span, the longer is the minimum acquisition time. In practice, the acquisition time of FFT analyzers is automatically adjusted to the lowest possible value, depending on the user's settings of the remaining parameters.

$$T = N \times \Delta t$$

Where  $T$  = Time record length

$N$  = Number of samples

$\Delta t$  = sample time (time between 2 samples) =  $1/f_s$

$f_s$  = sampling frequency

d) Real-time Bandwidth

This value is a performance indicator of the analyzer. Real-time bandwidth is the frequency span, at which, the FFT processing time equals the 'time record' length. There is no break between the end of a time record and the start of the next.

e) FFT specifications summary

Transform:	Short-Time Fourier Transform (STFT)
Window:	Rectangular
Window Length:	2048 or 4096
Frequency Bins:	From 512 to 2048

The Window Length and the Frequency Bins should be configured in order to get the maximum number of Block Edge Mask non compliances.

f) Frequency Mask Trigger

This option allows the automatic triggering of the real time spectrum analyzer equipment, whenever the emission under measurement, defined according the applicable case described in this recommendation, invades the frequency mask area.

When the emission gets in the frequency mask, the equipment should record that event, by taking a sufficient number of samples to allow the study of such event, afterwards.

**←— Fim do texto proposto —→**

De realçar que deverão ser promovidos e realizados testes adicionais, para comprovar a validade, a reprodutibilidade do método e a escolha dos parâmetros mais adequados. Estes testes devem ser efetuados em situações reais e por diferentes países, pois só assim se poderá ter confiança prática e generalizada na metodologia proposta.

### 5.2.3 Anexo 2 da recomendação

Dado que este anexo, em particular, não se refere a sinais de LTE, nada é alterado. No entanto, poderão também ser aplicadas as técnicas de análise matemática anteriormente estudadas aos sinais descritos neste anexo, desde que se acautelem testes específicos.

### 5.2.4 Anexo 3 e futuro Anexo 4 da recomendação

Nestes anexos, descrevem-se os procedimentos de medição para sinais LTE, incluindo o modo de construção da *Block Edge Mask*, explicitando-se como deve ser feita a seleção do método de medição a adotar, tendo em consideração todas as especificidades inerentes ao cenário sob escrutínio, se por medições radiadas ou conduzidas, entre outros.

Propõe-se ainda que seja alterado o ponto A3.5.3 *Measurement Procedure*, mais concretamente o ponto A.3.5.3.3 *BEM Compliance Measurent*, para que passe a constar, no seu final, o seguinte texto:

**←— Início do texto proposto —→**

If an FFT equipment is used, due to the complexity of the LTE BEM, and taking into account the amount of memory, storage capacity and processing capacities, the maximum Real Time Bandwidth should be applied, in order to get as much of the bandwidth of the signal, and the maximum measurement time that the equipment makes available or, if possible, to apply a trigger frequency mask.

The processing of the acquired signal should be done according the following:

- Transform: Short-Time Fourier Transform (STFT)
- Window: Rectangular
- Window Length: 2048 or 4096
- Frequency Bins: From 512 to 2048

It should be considered that the captured signal could be divided in smaller portions of samples for analysis, as big as the processing hardware and software can manage them.

**←— Fim do texto proposto —→**

Como se pode verificar, alguns dos parâmetros ainda não estão definidos, por impossibilidade prática de efetuar testes reais de medição e avaliação dos sinais de LTE, face à correspondente BEM.

No entanto, tais estudos serão realizados, futuramente, no âmbito da atividade quotidiana da monitorização e controlo do espectro da ANACOM, com o objetivo de melhorar os métodos de medição e, assim, contribuir para o desenvolvimento de melhores e mais expeditas técnicas de verificação da conformidade das emissões radioelétricas face à legislação nacional e recomendações internacionais.

É, além disso, intenção do autor desta dissertação, em colaboração com outros colegas da ANACOM, prosseguir os estudos necessários com vista à alteração da REC(11)06, dado que, tal não poderá depender apenas de estudos teóricos, tendo sempre que ter uma componente prática, em situações reais de medição, que validem o agora proposto.

PÁGINA EM BRANCO

## Bibliografia

- [1] Autoridade Nacional de Comunicações (ANACOM) - [www.anacom.pt](http://www.anacom.pt)
- [2] Decisão da Comissão de 6 de Maio de 2010 relativa à harmonização das condições técnicas de utilização da faixa de frequências de 790-862 MHz por sistemas terrestres capazes de fornecer serviços de comunicações eletrónicas na União Europeia
- [3] J. P. M. M. Borrego: *Impact of the Transient Behavior of Radio Communication Systems on Spectrum Management*, Tese apresentada à Universidade de Aveiro, 2015
- [4] FM PT 22 – *Monitoring and Enforcement* - <http://www.cept.org/ecc/groups/ecc/wg-fm/fm-22/page/terms-of-reference/>
- [5] ECC/CEPT, ECC Decision(15)01, of 6 March 2015, on *Harmonised technical conditions for mobile/fixed communications networks (MFCN) in the band 694-790 MHz including a paired frequency arrangement (Frequency Division Duplex 2x30 MHz) and an optional unpaired frequency arrangement (Supplemental Downlink) Technical considerations regarding harmonisation options for the digital dividend in the European Union, Frequency (channeling) arrangements for the 790-862 MHz band*, 2009.
- [6] ECC/CEPT, ECC REC(11)06 - *Block Edge Mask Compliance Measurements for Base Stations*.
- [7] CEPT, CEPT Report 19, *Report from CEPT to the European Commission in response to the Mandate to develop Least Restrictive Technical Conditions for frequency bands addressed in the context of WAPECS*, 2008.
- [8] T. K. Forde, L. E. Doyle and B. Ozgul; *Dynamic Block-Edge Masks (BEMs) for Dynamic Spectrum Emission Masks (SEMs)*, IEEE DySPAN 2010 proceedings.

- [9] ECC REPORT 131: *Derivation of a Block Edge Mask (BEM) for terminal stations in the 2.6 GHz frequency band (2500-2690 MHz)*
- [10] *European Conference of Postal and Telecommunications Administrations – CEPT*  
<http://www.cept.org/cept/framework/>
- [11] *Electronic Communications Committee (ECC) -* <http://www.cept.org/ecc/framework/>
- [12] *Working Group Frequency Management -* <http://www.cept.org/ecc/groups/ecc/wg-fm/page/terms-of-reference/>
- [13] ECC/CEPT Documento FM22(16)07 - *Block Edge Mask measurements for LTE700 base stations*
- [14] EBU – *Protection of DTT from LTE700*  
[https://tech.ebu.ch/docs/factsheets/EBU%20Fact\\_Sheet\\_DTTB\\_protection\\_from\\_LTE700.pdf](https://tech.ebu.ch/docs/factsheets/EBU%20Fact_Sheet_DTTB_protection_from_LTE700.pdf)
- [15] Rohde & Schwarz; *Coexistence Digital TV and LTE – Application Note*
- [16] ETSI EN 301 908-14 V11.1.1 (2016-05), *IMT cellular networks; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive; Part 14: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Base Stations (BS).*
- [17] ETSI TS 136 101 V12.12.0 (2016-09), *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (3GPP TS 36.101 version 12.12.0 Release 12)*
- [18] ETSI TS 136 104 V11.15.0 (2016-04), *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 36.104 version 11.15.0 Release 11)*
- [19] ETSI TS 136 211 V11.6.0 (2014-10), *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation (3GPP TS 36.211 version 11.6.0 Release 11)*
- [20] ETSI TS 136 141 V12.12.0 (2016-08), *LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) conformance testing (3GPP TS 36.141 version 12.12.0 Release 12)*

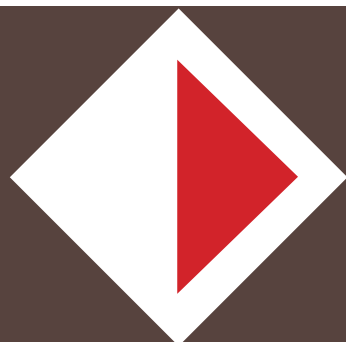
- 
- [21] CEPT Report 53: *Report A from CEPT to the European Commission in response to the Mandate “To develop harmonised technical conditions for the 6941-790 MHz ('700 MHz') frequency band in the EU for the provision of wireless broadband and other uses in support of EU spectrum policy objectives”*
- [22] ECC/DEC/(09)03 - *ECC Decision of 30 October 2009 on harmonised conditions for mobile/fixed communications networks (MFCN) operating in the band 790 - 862 MHz*
- [23] N. B. Carvalho, D. Schreurs: *Microwave and Wireless Measurement Techniques*, Cambridge University Press 2013
- [24] M. C. P. Baptista: Identificação e Caracterização da Modulação dos Sinais Digitais em RF, Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro 2008
- [25] ECC Recommendation (06)01 - *Bandwidth measurements using FFT techniques*
- [26] ECC Recommendation (07)01 - *Frequency measurements using fast fourier transform (FFT) techniques*
- [27] LTE/SAE Engineering Overview – Wray Castle Training Course
- [28] LTE/SAE Parameters and Tuning – Wray Castle Training Course
- [29] LTE Downlink Test Model (E-TM) Waveform Generation – MathWorks Support Documentation: <https://www.mathworks.com/help/lte/examples/lte-downlink-test-model-e-tm-waveform-generation.html>.
- [30] *Measuring ACLR Performance in LTE Transmitters – Agilent Application Note*
- [31] National Instruments, *Labview 2014 Help* ( “Help” disponível no Labview Professional Development System).
- [32] National Instruments, *Understanding RF Instrument Specifications Part 3*. [Available Online]: <http://www.ni.com/tutorial/7291/en/>
- [33] Christoph Rauscher: *Fundamentals of Spectrum Analysis*, Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG
- [34] Agilent Technologies; *Spectrum Analysis Basics – Application Note 150*
-

- [35] Agilent Technologies; *Vector Signal Analysis Basics – Application Note 150-15*
- [36] Rohde & Schwarz; *Implementation of Real-Time Spectrum Analysis – White Paper*
- [37] R. L. Allen and D. W. Mills, *Signal Analysis – Time, Frequency, Scale and Structure*, IEEE Press / Wiley Inter-science, 2004.



**Proposta de melhoramento da ECC REC(11)06**





# ECC Recommendation (11)06

Block Edge Mask Compliance Measurements for Base  
Stations

Approved October 2011

Approved Annex 3 - October 2013

Approved Annex 4 – Month 2016

Amendment – Month 201X

## INTRODUCTION

Block Edge Masks (BEM) are being developed as a new regulatory approach for the definition of a set of “common and minimal (least restrictive) technical conditions” optimised for, but not limited to, fixed/mobile communications networks. In this regulatory approach BEMs have been set into effect in order to provide a certain level of protection for wireless systems in adjacent frequency blocks and to reduce the necessity for coordination between the operators.

BEMs are not intended to replace or relax limits set in dedicated equipment standards, e.g. limits for spurious emissions. Those measurements are not in the scope of this document.

The purpose of this Recommendation is to provide a common measurement method which will enable CEPT administrations to verify BEM compliance in the field.

DRAFT

## **ECC RECOMMENDATION OF OCTOBER 2011 ON BLOCK EDGE MASK COMPLIANCE MEASUREMENTS FOR BASE STATIONS**

“The European Conference of Postal and Telecommunications Administrations,

*considering*

- a) that Block Edge Masks (BEM) are being developed as a new regulatory approach for the definition of a set of common and least restrictive technical conditions;
- b) that in this approach a number of contiguous frequency blocks are assigned to network operators with usually no guard bands in between;
- c) that in this approach it is up to the license holder to decide on the size of any internal guard band inside their block, if needed;
- d) that Block Edge Masks have been set into effect in order to provide a certain level of protection for wireless systems in adjacent frequency blocks and to reduce the necessity for coordination between the operators;
- e) that BEMs are not intended to replace or relax limits set in dedicated equipment standards, e.g. limits for spurious emissions;
- f) that this Recommendation is not intended to replace any conformity assessment procedures;
- g) that additional specific methods can be added to the Annexes to this Recommendation.

*recommends*

1. that the measurement principles described in Annex 1 should be used for the assessment of compliance with the provisions of all BEMs;
2. that the specific methods described in subsequent Annexes should be used for the assessment of compliance with the provisions of BEMs when applicable.”

## ANNEX 1: GENERAL CONSIDERATIONS FOR THE ASSESSMENT OF BLOCK EDGE MASKS

### A1.1 INTRODUCTION

Block Edge Masks (BEM) are being developed as a new regulatory approach for the definition of a set of “common and minimal (least restrictive) technical conditions” optimised for, but not limited to, fixed/mobile communications networks. In this approach a number of contiguous frequency blocks are assigned to network operators, with usually no external guard bands in between. No decision is made by the regulatory body on which technology has to be used for the service, which channel bandwidths to be used, and so on. It is even up to the license holder to decide on the size of an optional internal guard band, if needed. This way the maximum freedom is granted the license holder to decide on how to make the best use of the spectrum.

In this regulatory approach Block Edge Masks have been set into effect in order to provide a certain level of protection for wireless systems in adjacent frequency blocks and to reduce the effort for coordination between the operators. BEMs are not intended to replace or relax limits set in dedicated equipment standards, e.g. limits for spurious emissions. Those measurements are not in the scope of this document.

### A1.2 TERMS AND DEFINITIONS / LIST OF ABBREVIATIONS

Abbreviation	Explanation
<b>WAPECS</b>	<u>W</u> ireless <u>A</u> ccess <u>P</u> olicy for <u>E</u> lectronic <u>C</u> ommunication <u>S</u> ervices
<b>EIRP</b>	The <u>E</u> quivalent <u>I</u> sotropically <u>R</u> adiated <u>P</u> ower of an antenna is the product of the antenna input power and the antenna gain, referenced to an isotropically radiating antenna, which does exist in theory only
<b>TRP</b>	The <u>T</u> otal <u>R</u> adiated <u>P</u> ower is used for defining the power limits of terminal stations. TRP is a measure of how much power the antenna actually radiates. The TRP is defined as the integral of the power transmitted in all directions over the entire radiation sphere. For a lossless isotropic antenna EIRP and TRP are equivalent. For a directional antenna EIRP in the direction of the main beam is (by definition) greater than the TRP
<b>PAPR</b>	The <u>P</u> eak-to- <u>A</u> verage power <u>r</u> atio of a transmitter is the ratio of the peak value of the output power to its time-averaged value. In some literature this is also referred to as the crest factor.
<b>RBW</b>	In swept analysers the <u>r</u> esolution <u>b</u> andwidth is the bandwidth of the measurement filter, usually referenced to the 3 dB points, which is used to sweep across the selected frequency range and to measure the signal power which passes the filter. In FFT analysers the RBW determines the FFT bin size or the smallest frequency step that can be resolved
<b>OoB</b>	In this document this abbreviation is used for the <u>O</u> ut-of- <u>B</u> lock signal power of a transmitter, i.e. the power density present outside the frequency block assigned to the network operator. It may not be mixed up with the out-of-band power of a transmitter, which describes the output power density outside the necessary bandwidth of an individual transmitter. The frequency range of an out-of-block measurement does not depend on the actual transmit frequency, but only on the edge frequencies of the assigned frequency block
<b>DANL</b>	The <u>D</u> isplayed <u>A</u> verage <u>N</u> oise <u>L</u> evel of an analyser is the level of noise which the analyser will display with its input terminated and depends on the thermal noise of all components involved in the signal processing chain of the analyser. It is the absolute minimum signal power which can be measured under specific ideal conditions. The DANL is usually stated for a 1 Hz bandwidth, no input attenuation, active pre-amplifier and maximum amplification in the signal processing chain

**OMC**

The Operations and Maintenance Centre is the central location of a network operator where all important parameters of a network are supervised.

**A1.3 BLOCK EDGE MASKS DEVELOPED IN CEPT DOCUMENTATION**

BEMs were developed for the WAPECS bands, e.g. 790-862 MHz [4], 2500-2690 MHz [3] [5] and 3400-3800 MHz [1] [3]. The BEM consists of in-block and out-of-block (OoB) limits depending on frequency offset. The out-of-block component of the BEM consists of a baseline limit as well as transitional (or intermediate) limits, to be applied, where applicable, at the frequency boundary of an individual licensed spectrum block. These limits were derived using studies of appropriate compatibility and sharing scenarios between fixed/mobile communication networks and other applications in adjacent bands but in the same geographical area.

**Base station:**

The limits are expressed in EIRP or transmitter output power density. The assumed typical values for the antenna gain are 15 dBi for the 800 MHz range and 17 dBi for 2 GHz and 2.6 GHz bands. The in-block limit for FDD is suggested to be in the range up to 56-64 dBm/5MHz (EIRP). For unsynchronized TDD networks or at the transition to the FDD range, a 'restricted TDD block' may be required with significantly smaller in-block power.

**Terminal station:**

The terminal station may be a mobile, nomadic or fixed station. The power limits are specified as EIRP for fixed terminal stations and as TRP for mobile or nomadic terminal stations, e.g. handhelds. Note that there may be no BEM defined for terminal stations at all, or the limits may refer to the actual channel edge rather than the block edge.

**A1.4 MEASUREMENT PRINCIPLE**

Basically measuring compliance of a transmitter to a given block edge mask can be compared to measuring a transmitter spectrum mask. The difference is that the transmitter may be actually operating on any system channel within the assigned frequency block. Usually it can be assumed, that the most critical case is a transmitter operating on the lowest or highest system channel within its block. The block edge mask applies to both edges of the assigned frequency block. As usually both edges cannot be measured the same time, in most cases two measurements are necessary.

For the assessment a standard spectrum analyser may be used setting centre frequency and span in such a way, that the relevant frequency span covered by the block edge mask is displayed. The actual transmitter frequency is not relevant here. Usually the RBW is set according to the transmitter's system bandwidth, observing relevant standards, e.g. ETSI EN 302 326-2 [2].

**A1.4.1 Reference Level and dynamic range**

The assessment of block edge masks usually requires a high dynamic range and high sensitivity. Sensitivity may be increased by (manually) switching off any input attenuator and switching on a preamplifier (internal or external). However, it is very important to avoid any overloading of the analyser, observing especially bandwidth and PAPR of the signal under test (for details see section A.1.5).

**A1.4.2 Increasing dynamic range**

The usable dynamic range of most modern spectrum analysers is limited to about 70 dB. Often higher dynamic ranges are stated for very small RBWs as a result of increased sensitivity with small filters. But this is true only for discrete spectral components. Most digital techniques (e.g. all QAM derivatives) will produce a noise-like continuous spectrum resulting in the above mentioned limited dynamic range.

Most block edge masks require a dynamic range of about 100 dB or more. To increase the dynamic range of the spectrum analyser the in band-transmission of the transmitter under test has to be attenuated. This may be done using a bandpass-filter tuned to the adjacent frequency block or using a bandstop-filter tuned to the

actual transmitter in-band signal. The achieved gain in dynamic range depends on stopband attenuation and sharpness of the used filter. The bandwidth of the filter has to be matched to the relevant adjacent block frequency range of the mask or the bandwidth of the in-band signal, respectively.

The received signal is passed through the filter. As the in-block signal is being attenuated the reference level and input attenuation of the analyser can be decreased, thus improving sensitivity and overall dynamic range. Using the input attenuator the transmitter's signal is levelled in such a way, that the total input power doesn't overload the analyser and at the same time the displayed signal level stays well above the DANL for all relevant frequencies.

The filtered spectrum is measured and stored in numerical format (e.g. csv format) for post-processing.

In a second step the input signal is being disconnected. A tracking generator is being connected to the filter input. Using a suitable generator level the amplitude response of the filter is measured and again stored for post-processing.

In a third step the analyser input is terminated and DANL is measured and stored.

In post-processing the measured spectrum is corrected by the frequency dependent filter attenuation and plotted along with the block edge mask. Eventually the block edge mask has to be renormalized to the used RBW. The system's sensitivity may be plotted along with the result.

#### A1.4.3 Normalisation

The BEM may be defined either channelized for a certain channel bandwidth or contiguous with a certain reference bandwidth.

In case of a channelized BEM the assessment may be done using a receiver with a suitable channel filter bandwidth tuned and stepped to the relevant channels defined, or using an analyser set to a RBW chosen according to [2] and sweeping over the defined channel. The signal power for all spectral components has to be integrated over the channel; i.e. a channel power measurement, as available on most state of the art spectrum analysers. A re-normalization of the BEM is not necessary.

In case of a contiguous BEM the assessment is done using a conventional sweep over the relevant frequency range. However, the BEM may be referenced to a bandwidth not suitable for the measurement; e.g. too broad. In this case the RBW of the analyser is chosen according to [2].

Because of the noise-like spectral density distribution of nowadays digital modulation schemes the measured signal power is reduced according to  $10 \bullet \log\left(\frac{BW_{Sig}}{RBW}\right)$ ; where  $BW_{Sig}$  = signal bandwidth and  $RBW$  = analysis bandwidth. Therefore the BEM has to be re-normalized as well according to

$$A_X^* = A_X - 10 \bullet \log\left(\frac{BW_{Ref}}{RBW}\right)$$

where  $A_X^*$  = amplitude of re-normalized BEM at frequency point X  
 $A_X$  = amplitude of original BEM at frequency point X  
 $BW_{Ref}$  = reference bandwidth of the original BEM  
 $RBW$  = analysis bandwidth.



Note: In the (unlikely) case a transmitter does produce discrete spectral components in its OoB domain, those discrete components may exceed the re-normalized BEM by a factor of

$$10 \bullet \left( \log \left( \frac{BW_{Ref}}{RBW} \right) - \log(N) \right); \text{ where}$$

N= number of discrete spectral lines present within a window of size  $BW_{Ref}$ .

#### A1.4.4 Absolute vs. relative defined masks

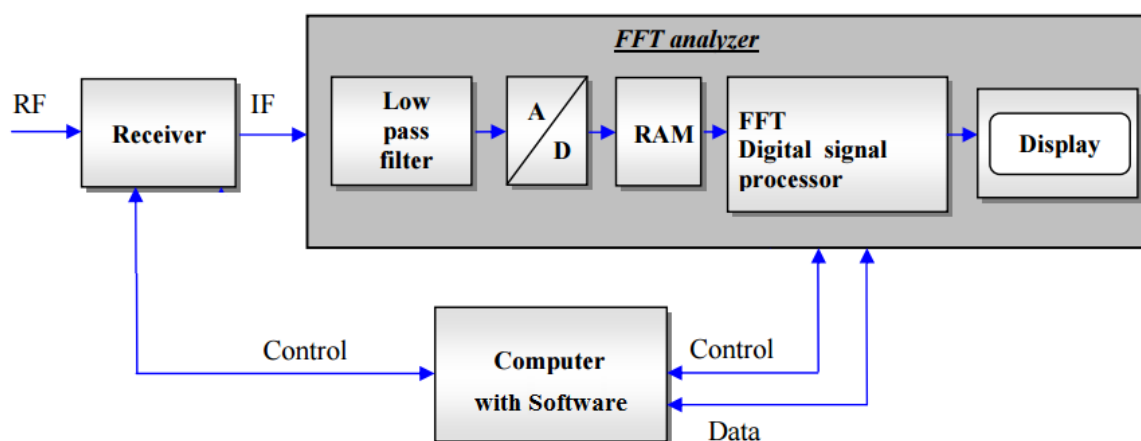
Block Edge Masks may be defined with absolute power or power density limits or alternatively with power limits relative to the transmitter in-block power. Those masks based on relative limits may be assessed using conducted or radiated measurements. However, the received signal-to-noise ratio has to be higher than the dynamic range introduced by the mask definition. This in turn requires the use of a high-gain antenna, highly sensitive analyser and preamplifier. Also the mobile measurement equipment, which is usually car-based, has to be placed in the direct vicinity of the transmitting antenna and within its main lobe. Although radiated measurements are often desirable, for practical reasons they may often not be possible. Some practical considerations are given in section A1.5.7.

The assessment of block edge masks with absolute power limits should be done using a conducted measurement directly at the transmitter output. Although a radiated measurement is possible in principle it's not recommended, as it will introduce a number of additional uncertainties (e.g. measurement distance). Especially in the case of a BEM based on transmitter output power or output power density for a radiated measurement the knowledge of certain parameters is necessary, which can be acquired only on-site; i.e. feeder loss and antenna gain.

#### A1.4.5 Principle of measurement using FFT techniques

##### A1.4.5.1 Basic system set-up

The following principle components are needed to assess the Block Edge Mask:



The majority of the FFT analysers apply a zoom in FFT to magnify the frequency range of interest in cases, when a small frequency band of the spectrum is needed to be analysed.

Zoom in FTT is a process in which the input signal is frequency down converted, decimated and sampled prior to delivering it into the standard FFT unit. Zoom-FFT operation makes it possible to reduce the frequency span while maintaining a constant centre frequency and focus the measurement anywhere on the analyser frequency range.

#### A1.4.5.2 Principal elements and component functions

##### A1.4.5.2.1 Receiver

The RF signal is first fed into a receiver that converts the frequency band to be analysed into an IF frequency range that the following A/D converter samples. The IF from the receiver must be in the operating band of the FFT analyser.

The required dynamic range of the receiver components should be at least 60 dB.

#### **A1.4.5.2.2 Low pass filter**

For digitizing the IF signal, it must be sampled at regular time intervals. During this process, mixed frequencies that are generated from the input signal and the sampling frequency can fall into the input frequency range of the FFT analyser, making the measurement result unreliable (aliasing effect).

Therefore, the filter has to be designed such that:

- the IF signal can pass
- the signal components higher than half the sampling rate of the following A/D converter are suppressed.

#### **A1.4.5.2.3 A/D converter**

The A/D converter converts the amplitudes of the signal in the time domain into a digital data stream. Complete reconstruction of a waveform, for accurate representation of the incoming signal, is only possible with sample frequencies taken at a rate greater than twice the highest frequency component.

#### **A1.4.5.2.4 RAM**

The sampled data has to be temporarily stored in memory (as a 'time record') before the current FFT process can be performed.

#### **A1.4.5.2.5 FFT Digital Signal Processor**

This component performs the actual FFT processing which converts the complete blocks of time records into amplitude versus frequency signals. The resulting spectrum is then mathematically analysed, in the frequency domain, to calculate the characteristic frequency. This calculation can be done in an external computer, preferentially, or in the equipment if there is enough processing capacity.

#### **A1.4.5.2.6 Display**

In order to obtain valid results, several conditions have to be met in terms of signal-to-noise ratio and interference including multiple signals.

Therefore, the assessment of Block Edge Mask showing only a figure as a result are not recommended.

It is necessary to have a software that provides the indication of the compliance or not with the relevant BEM.

#### **A1.4.5.2.7 Computer**

A computer can be used to store the measurement data and to control the receiver and/or the FFT analyser and to process the resulting signal.

There are two different stages in which signal data could be stored:

- The frequency domain data are stored after the FFT process (i.e. in the frequency domain). This method takes up only little storage space, but later measurements can only be repeated with the same FFT settings.
- The time domain samples of the signal are stored before the FFT process. This method allows later measurements with different FFT settings (acquisition time, resolution), but takes up a very large amount of storage capacity.

Storing the data allows measurements at a later time ('off-line'), making it unnecessary for the operator to wait for temporary emissions to come up, and ease frequency measurements of very short (pulsed) emissions.

#### **A1.4.5.2.8 Software**

A software program should be used to verify the assessment of the Block Edge Mask, according to the relevant mask. The software will be executed in the computer, or in the receiver equipment if there is enough processing capacity.

The software executes the necessary calculations, using the appropriate transform, window, window length and frequency bins according to the applicable annex.

#### FFT Digital Signal processing

##### a) Windowing

Since the FFT process considers/analyses a signal only for a limited time (the acquisition time), it assumes the signal to be non-existent or at least periodic outside the calculation 'window'.

This, however, results in certain errors when in fact the amplitude of the signal is not zero in the beginning and in the end of each time record. To reduce such errors, a filter (so-called window function) has to be applied to the signal.

From the FFT theory it can be proven that there are no ideal filter which results in an exact reproduction of the signal in the frequency domain. All used windows are optimized for either good amplitude accuracy or good frequency resolution.

The Rectangular window is recommended due to its good frequency response and resolution.

##### b) Frequency resolution

To achieve good accuracy, the spectral resolution of the FFT process should be, at least, 512 lines or more. The required frequency resolution is often determined through the setting of the resolution bandwidth. For a maximum of accuracy, if the FFT resolution is 512 lines, the optimum resolution bandwidth is about 1/500 of the frequency span that is analysed. Higher values for the resolution bandwidth would waste FFT resolution capabilities, smaller resolution bandwidths would only result in slower performance.

##### c) Time record (acquisition time)

The duration of each time record has to be, at least, as long as the period of the lowest modulating frequency of the signal to be analysed. However, it also depends on the required frequency resolution and on the frequency span. The higher the required frequency resolution and span, the longer is the minimum acquisition time. In practical the acquisition time of FFT analysers is automatically adjusted to the lowest possible value depending on the user's settings of the remaining parameters.

$$T = N \times \Delta t$$

Where T = Time record length

N = Number of samples

$\Delta t$  = sample time (time between 2 samples) = 1/fs

fs = sampling frequency

#### d) Real-time Bandwidth

This value is a performance indicator of the analyzer. Real-time bandwidth is the frequency span at which the FFT processing time is equals the 'time record' length. There is no break between the end of a time record and the start of the next.

#### e) FFT specifications summary

Transform:	Short-Time Fourier Transform (STFT)
Window:	Rectangular
Window Length:	2048 or 4096
Frequency Bins:	From 512 to 2048

The Window Length and the Frequency Bins should be configured in order to get the maximum number of Block Edge Mask non compliances.

#### f) Frequency Mask Trigger

This option allow the automatic triggering of the real time spectrum analyzer equipment whenever the emission under measurement, defined according the applicable case described in this recommendation, invades the frequency mask area.

When the emission gets in the frequency mask the equipment should record that event by taking a sufficient number of samples to allow the study of such event, afterwards.

### A1.5 PRACTICAL CONSIDERATIONS

The realisation of the measurement principle as described in section A1.4 **Error! Reference source not found.** is relatively straightforward for those systems with non-bursted and constant output power for such block edge masks with constant reference bandwidth and when performing the measurement at the transmitter output. Those systems may be found mainly in broadcasting (unidirectional) radio systems. However, specific characteristics of many mobile communication systems will require special prerequisites, some of which will be detailed in the following sections.

For many systems several of the following aspects will have to be addressed in order to execute a trustworthy measurement. Therefore every block edge mask assessment has to be preceded by a detailed analysis of the signal characteristics of the radio system under test.

#### A1.5.1 Switchable input attenuator / preamplifier

As described in section A1.4.2 the input attenuator is needed to optimize the input signal level to the analyser's dynamic range. If the dynamic range of the analyser is only a few dB higher than the dynamic range given by the BEM the analyser's internal switchable attenuator may be too coarse (e.g. 10 dB steps). In this case an external switchable attenuator with smaller steps is required.

Especially when doing measurements via the air interface the available signal power may be too low to apply the necessary attenuation; the signal may drop below DANL on some frequencies. In this case a higher gain antenna and/or a low noise preamplifier may be needed. Special care has to be taken that the preamplifier is not being overloaded. This means the drive of the amplifier should stay well below its 1 dB compression point. A high intercept point is needed to avoid intermodulation.

#### A1.5.2 Bursted signals

Doing a conventional sweep over a bursted signal with RMS detector will result in false readings, as for every sweep point the RMS value is calculated from a number of *on burst* and *off burst* samples. So the reading will be too low depending on the (usually random) ratio of *ON* and *OFF* samples. To overcome this issue one has to make sure, that samples are only taken during active burst times. This can be accomplished using the gated sweep mode, available on most modern spectrum analysers.

In gated sweep mode samples are only taken when the detected input power is above a certain level. The RF detector is usually located directly behind the first filter stage of the analyser, thus isn't affected by the RBW. However, the bandwidth of the first filter often is only slightly broader than the widest RBW of the analyser. As block edge mask measurements may be commenced at a large offset from the actual signal's RF frequency, the trigger might not be fired.

On the other hand on analysers with a special (broad) filter for the RF detector the trigger might be fired erroneously by another transmitter nearby. In this case an external selective trigger source tuned to the transmitter's frequency is needed.

The trigger source might be a second analyser in zero span modes. The analyser is tuned to the actual centre frequency of the transmitter under test, choosing an appropriate RBW. The Sweep time is set according to the burst duration. The video trigger is used to stabilize the display and has to reliably trigger on the bursts only.

The trigger output is being fed to the trigger input of the measuring analyser and used as external trigger for the gated trigger mode. Now the block edge mask can be reliably assessed in the relevant frequency range as described in section A1.4.

### **A1.5.3 Signals with PAPR > 0 dB**

Most wireless systems employ modulation schemes, which not only use phase but also amplitude modulation (e.g. all QAM derivatives). The resulting transmitter output signal has a PAPR > 0 dB (see definition in section A1.2), the actual value of which depending on the actual data sequence being sent. As the peak power of such signals can be much higher than the RMS power there is the risk of overloading the analyser's input without noticing it. Reference level and input attenuation have to be set according to the peak power, not the usually stated RMS power of the transmitter. The same applies to a preamplifier being used for measurements via the air interface. The received peak power has to stay well below the input 1 dB compression point of the amplifier.

In case the modulation bit patterns are not statistically even distributed over time the PAPR may vary during bursts or from burst to burst, adversely affecting the measurement. In this case the relevant standards may define special test models and one may have to activate the test model for the highest PAPR. This of course requires cooperation of the network operator and is accompanied with a service interruption, which may pose an additional threat in implementing the measurement.

### **A1.5.4 Power Reference**

Some telecommunication systems transmit a fixed bit pattern in a certain part of a burst (e.g. a preamble) at the beginning of every burst. This part of the burst usually has a fixed and often the highest output power within the burst. The standard may define this part as the power reference, instead of the RMS power averaged over the complete burst. On those systems it is necessary to limit the BEM measurement to the preamble part of the burst.

### **A1.5.5 Power Control**

In CDMA based systems the actual output power varies with the number of active code channels. The usage of code channels is highly dynamic. As the output power density spectrum in the out of band domain usually can be assumed to be dependent of the actual transmitter's drive, the BEM of a CDMA transmitter cannot be assessed in normal operating mode of the transmitter under test. Again a special test mode (referred to as test models in various standards) has to be activated to achieve a maximum and constant output power.

OFDM systems on the other hand may use sub-channelizing (OFDMA). With this mode of operation groups of OFDM subcarriers may be assigned dynamically to a dedicated client and switched off completely when not needed. Power control may also be applied individually to groups of subcarriers, again resulting in a highly dynamic non-constant below maximum output power of the transmitter. One has to check whether the technology used by the transmitter under test uses some kind of preamble with all OFDM carriers switched to maximum power. This preamble may be used for the assessment. Otherwise a suitable test signal or test mode has to be activated in the transmitter to assess the BEM.

### **A1.5.6 Assessing customer (client) equipment**

Most BEMs are defined for base stations. However, if a BEM is defined also for the terminal equipment, they have to be assessed, too. Unlike base station equipment the terminals usually do not output any signal until a valid base station signal is received. During assembly and test the manufacturer uses a special test interface to put the transmitter in a test mode for rapidly testing the transmitter. However, this interface is usually not available after final assembly. Therefore a valid base station signal has to be made available to the terminal equipment so that it starts transmitting.

This may be done using a signal generator with programmable IQ modulator. But with most telecommunication standards a sophisticated terminal tester will be necessary, which is able to communicate bi-directionally with the terminal. Those testers are rarely available at radio monitoring services and are expensive. Therefore it might be easier to test the terminal in a real network.

A directional coupler may be connected between antenna and terminal equipment to access the transmit signal without interrupting the RF conversation between base station and terminal equipment.

However, as today's radio interfaces are often highly dynamic (frequency, power, modulation schemes and so on), in-depth knowledge of the respective radio interface is necessary in order to achieve stable and defined conditions. To give an example: In order to rule out power control of the terminal equipment one may connect a switchable attenuator between antenna and transmitter and drive the radio connection to the lowest possible level resulting in base station and terminal station both using the highest available transmit power.

### A1.5.7 Radiated measurements

When performing radiated measurements the most critical part is to get enough field strength for the measurement. Furthermore in the case of BEMs with absolute (power) limits one has to ensure to precisely measure the *correct* field strength. To accomplish this it is important to position the receiving antenna within the main beam of the transmit antenna in respect to azimuth, elevation, geographical position, antenna height and polarisation. Note that many terrestrial mobile communications networks use 45° polarisation. Satellite links often use circular polarisation.

The distance to the transmit antenna should be smaller than the distance at which the transmit antenna beam will touch ground and thereby free-space propagation can also be assumed. This will eliminate uncertainties introduced by ground reflections. Furthermore it is necessary to avoid any reflections caused by nearby buildings, trees or anything alike. Such reflections may cause frequency-selective distortion. Check the received signal using a spectrum analyser for any distortion.

On the other hand the distance must be sufficient to ensure far-field conditions. For transmit antennas with apertures being large compared to the wavelength, the far-field region is commonly taken to exist at distances greater than

$$d \geq \frac{2D^2}{\lambda}$$

where d = distance from transmit antenna  
D = largest dimension (aperture) of the transmit antenna  
λ = wavelength

Special care has to be taken to avoid overloading the analyser by strong nearby transmitters. Even when using a highly directive receiving antenna the analyser may be overloaded by other transmitters, which may be located on or near the building of the base station under test. Therefore a pre-measurement over a wide frequency range should be performed. A band pass filter may be used to improve the strong signal immunity of the measurement setup.

#### **A1.5.8 Uncertainty in BEM Measurement**

As with all kinds of measurement the assessment of block edge masks is subject to a number of uncertainties, which have to be taken into account. Uncertainties include but are not limited to level uncertainty of the analyser / receiver, uncertainties in cable loss and filter amplitude response.

Administrations implementing this recommendation should evaluate and express uncertainties of their individual measurement equipment according to the general rules established by JCGM 100:2008 [7] or ETSI TR 100 028-1 and TR 100 028-2: "Uncertainties in the measurement of mobile radio equipment characteristics" (Parts 1 and 2 ) [8].

DRAFT

## ANNEX 2: ASSESSMENT OF THE BLOCK EDGE MASK FOR BROADBAND WIRELESS ACCESS (BWA) CENTRAL STATIONS (CS) WITHIN THE FREQUENCY BAND 3400-3800 MHz USING IEEE 802.16 TRANSMITTERS

### A2.1 INTRODUCTION

This annex describes the assessment of block edge masks for BWA CS transmitters within the frequency band 3400-3800 MHz and operating in accordance to standard IEEE 802.16 [6] using the Wireless MAN-OFDM or Wireless MAN-OFDMA air interfaces.

Those interfaces are based on OFDM modulation and designed for NLOS operation in frequency bands below 11 GHz. Supported modulations of the OFDM subcarriers includes BPSK, QPSK, and QAM. Channel bandwidths can be chosen flexibly between 1.25 MHz and the allocated block size by the operator. FDD and TDD duplexing is allowed.

The transmission has a burst structure with modulation scheme, power and number of active OFDM carriers being variable, even within a single burst.

### A2.2 BLOCK EDGE MASK FOR CENTRAL STATIONS

ECC/REC/(04)05 [1] defines the relevant technical conditions for central stations (CS). Those conditions include a maximum in-block EIRP spectral density of 53 dBm/MHz. It is assumed that the total transmitter output power does not exceed 43 dBm. The actual CS EIRP spectral density limit may be adjusted by administrations.

The out-of-block emissions of a CS are limited by the BEM.

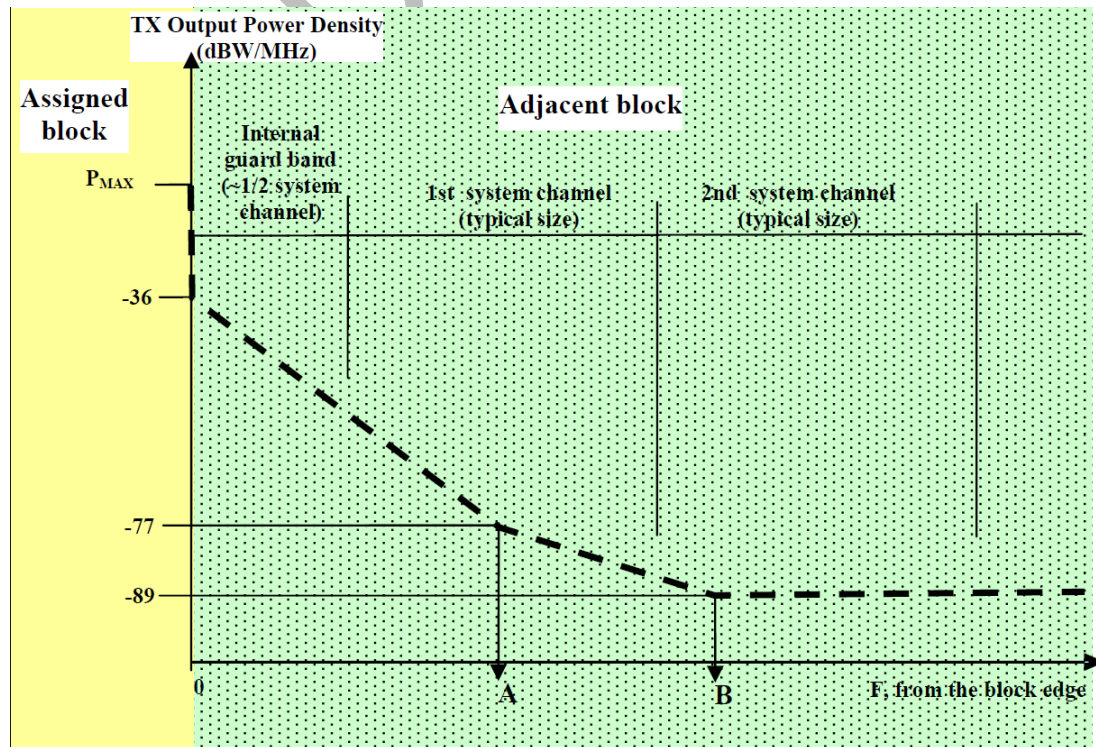


Figure 1: CS BEM as of ECC/REC/(04)05

The BEM consists of three sections: The baseline level is -59 dBm/MHz and is valid for frequencies being away from the block edge more than 35% of the size of the assigned block (point B). The two inner sections realize the transition from the in-block limit to the baseline level. The first section of the BEM starts at -6 dBm/MHz and linearly decreases to -47 dBm/MHz at point A, which is away from the block edge 20% of the



size of the assigned block. In section 2 (frequencies between points A and B) the limit decreases from -47 dBm/MHz to the baseline level.

Example for an assigned block size of 21 MHz:

- Point A is at block edge  $\pm 4.2$  MHz, resulting in a gradient in section 1 of -9.76 dBm/MHz;
- Point B is at block edge  $\pm 7.35$  MHz, resulting in a gradient in section 2 of -3.8 dBm/MHz.

Note that the BEM is defined in absolute transmitter output power density and does not depend on actual transmitter output power.

### A2.3 PREREQUISITES

It is recommended to perform a conducted measurement at the transmitter output port. This avoids any additional measurement uncertainty resulting from uncertainties in CS antenna gain, feeder loss and free space loss.

Based on a maximum transmitter output power of 43 dBm and a baseline level of -59 dBm/MHz, the necessary dynamic range of the measurement equipment is  $> 102$  dB. As the assessment of the BEM cannot be performed using the normalization bandwidth of 1 MHz, the BEM has to be re-normalized to a narrower measurement bandwidth (RBW). This again increases the necessary dynamic range by a factor of  $1/\text{RBW}$ ; where RBW is given in MHz. As the needed dynamic range is far above the dynamic range offered by state of the art spectrum analysers, the dynamic range of the measurement equipment has to be increased using the method described in section A1.4.2.

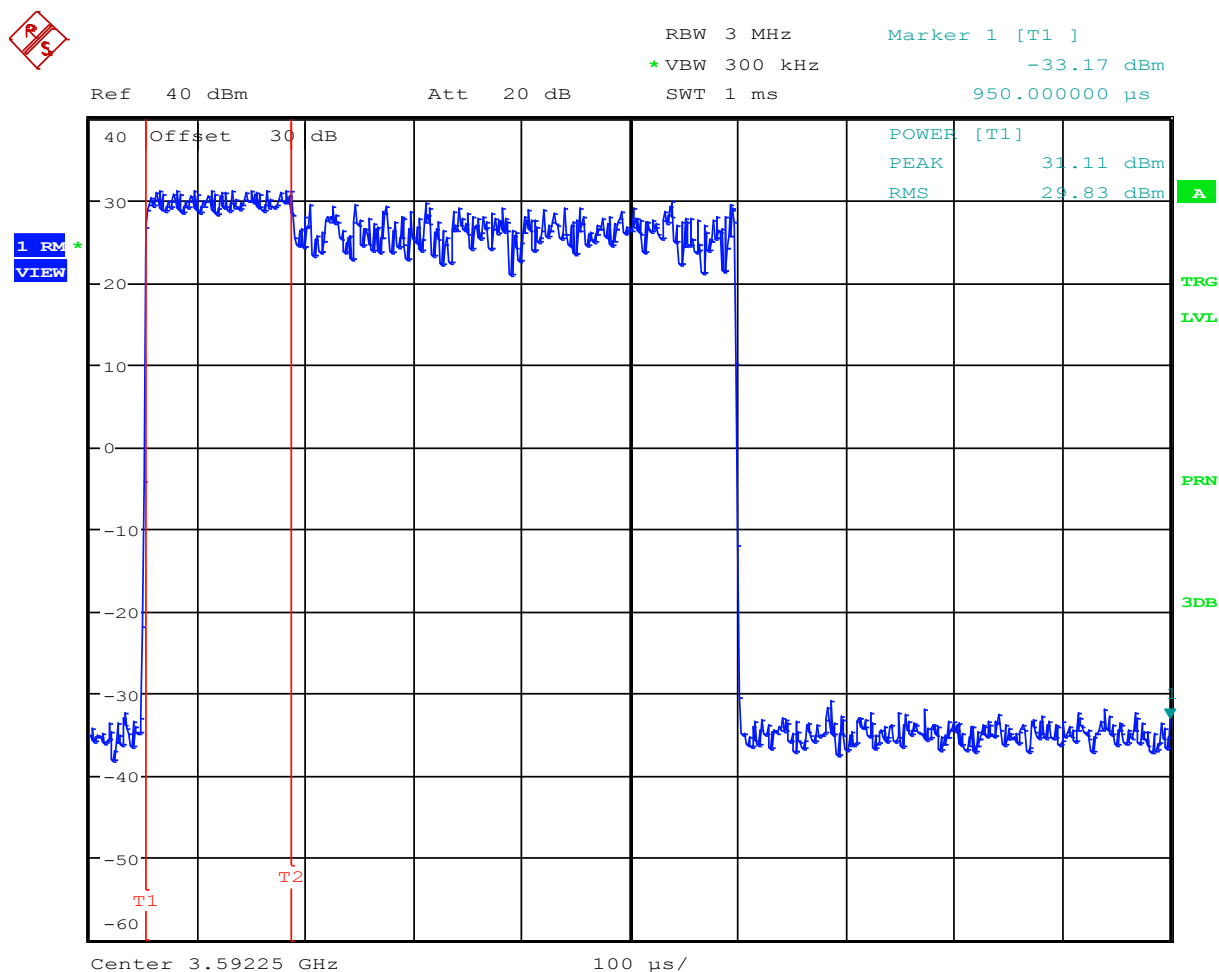
As the CS antenna has to be disconnected for the measurement, care has to be taken to correctly terminate the CS transmitter. As the CS will be transmitting into the stop band of the filter, it will not present the correct impedance to the transmitter. Two alternatives are recommended:

1. Connection of a directional coupler in-line between transmitter output and antenna. The coupling factor should be in the range of 20 ... 30 dB. The measuring setup will be connected to the coupled port.
2. Connection of a 20 ... 30 dB power attenuator between transmitter output and input of the measurement setup (the filter).

The coupling factor or attenuation may be matched to the stopband attenuation of the used filter for optimized measuring sensitivity.

With either alternative the transmit power level will be reduced to a level suitable for the measurement setup while providing adequate impedance matching to the CS transmitter output. Alternative 1 has the additional benefit that the antenna can be left connected during the measurement and service interruptions are reduced to a minimum. Note that the sensitivity of the measuring setup will be degraded by the amount of in-line attenuation.

An IEEE 802.16-2009 [6] frame (which is one RF burst to be measured) always starts with a preamble, followed by a frame control header (FCH) and a number of data bursts. The data bursts may use BPSK, QPSK, 16-QAM or 64-QAM, each with code rate  $\frac{1}{2}$  or  $\frac{3}{4}$ . The FCH is always transmitted using BPSK- $\frac{1}{2}$  and the preamble uses a fixed constellation pattern. Because of this frame structure the output power is not constant within a frame, especially when using QAM. Additionally the preamble is power boosted by 3 dB to improve synchronization. As a result the preamble is the part of the frame with the highest and constant RMS power.



Date: 9.MAR.2010 13:42:07

**Figure 2: RF burst of IEEE 802.16 CS [6]**

These characteristics make it necessary to limit the gate open time of the gated trigger to *start of frame* (plus settling time of the resolution filter) until *end of preamble*. The preamble always has the length of two OFDM symbols and can be calculated from the OFDM symbol parameters as stated in [6], section A2.1

More easily the preamble length can be derived by displaying one RF burst in zero span modes as shown in the Figure above. The preamble now can easily be distinguished from the data part by the 3 dB power boost and the low PAPR. It has been marked with T1 and T2 in the example.

#### A2.4 MEASUREMENT SETUP

The following equipment is needed for the conducted measurement:

- **Power attenuator or (uni-) directional coupler:** Needed to terminate the transmitter output and to reduce the power level to a value which can safely be handled by the filter. The attenuation or coupling ratio should be at least 10 dB, usually 20 ... 30 dB is useful.
- **Bandpass or bandstop filter:** Needed to suppress the main transmitter signal while bypassing the OoB domain. The needed attenuation depends on the used analyser and is usually about 40 dB on the transmitter's frequency and should be much less than 10 dB in the assessed frequency range. The resulting steepness can become quite large, especially with transmitters operating near an edge of the assigned frequency block. The attenuated in-block transmission has to be strong enough for the gated trigger to reliably work! Therefore a bandstop filter is preferably used.

- **Spectrum Analyser:** A model with high dynamic range, good sensitivity, RMS detection and gated sweep capability is needed. Usually an analyser with a DANL  $< -150$  dBm/MHz is adequate. Depending on the available (bandpass or bandstop) filter and the margin in sensitivity a switchable input attenuator with step size  $\leq 5$  dB is desirable.
- **Signal Generator:** Needed to measure the amplitude response of the filter. It may be built into the analyser or external, but has to be tracked by the analyser.
- **Computer:** Used for post-processing of the data and result display. Additionally the computer may be used for automation of the procedure.

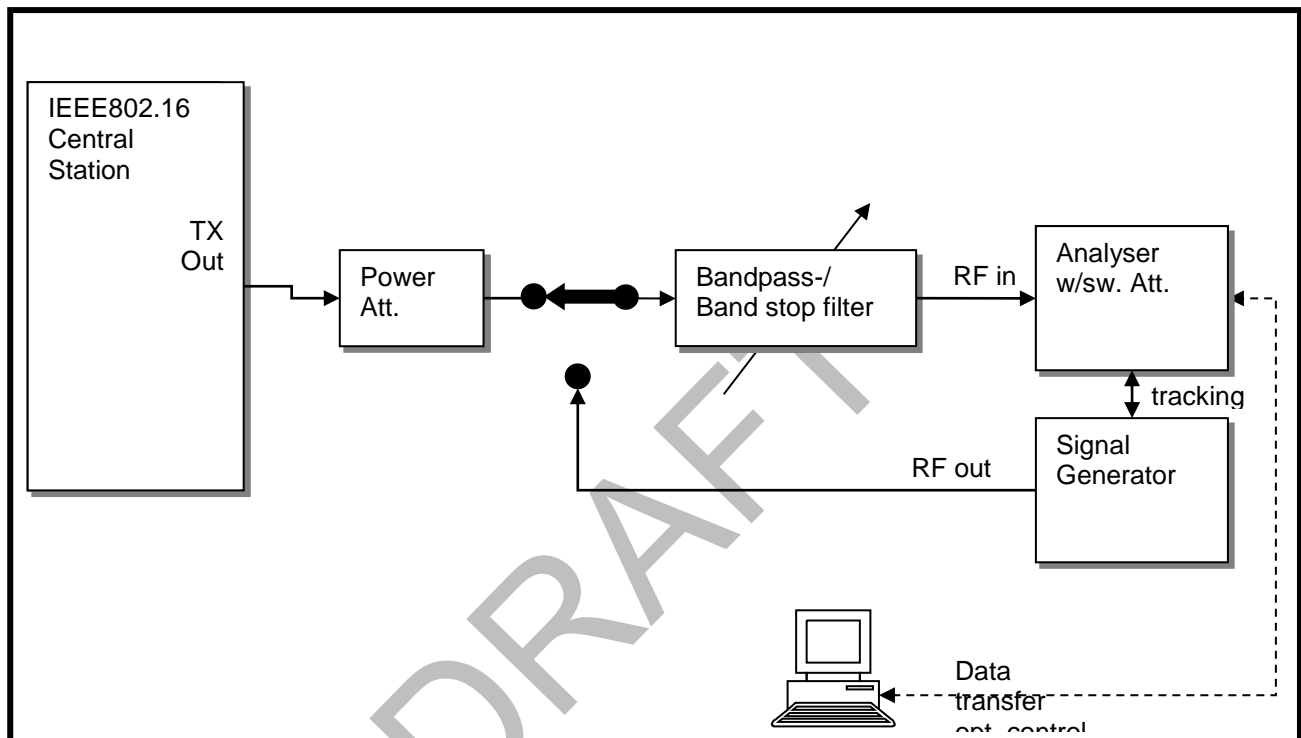


Figure 3: Example of a typical conducted measurement setup

## A2.5 MEASUREMENT PROCEDURE

As the measurement is performed at the transmitter output, cooperation of the network operator is necessary. After shutting down the transmitter (locally or via the operator's Operations Management Centre) the power attenuator (see section A2.3) is connected to the transmitter output and the transmitter is powered up again.

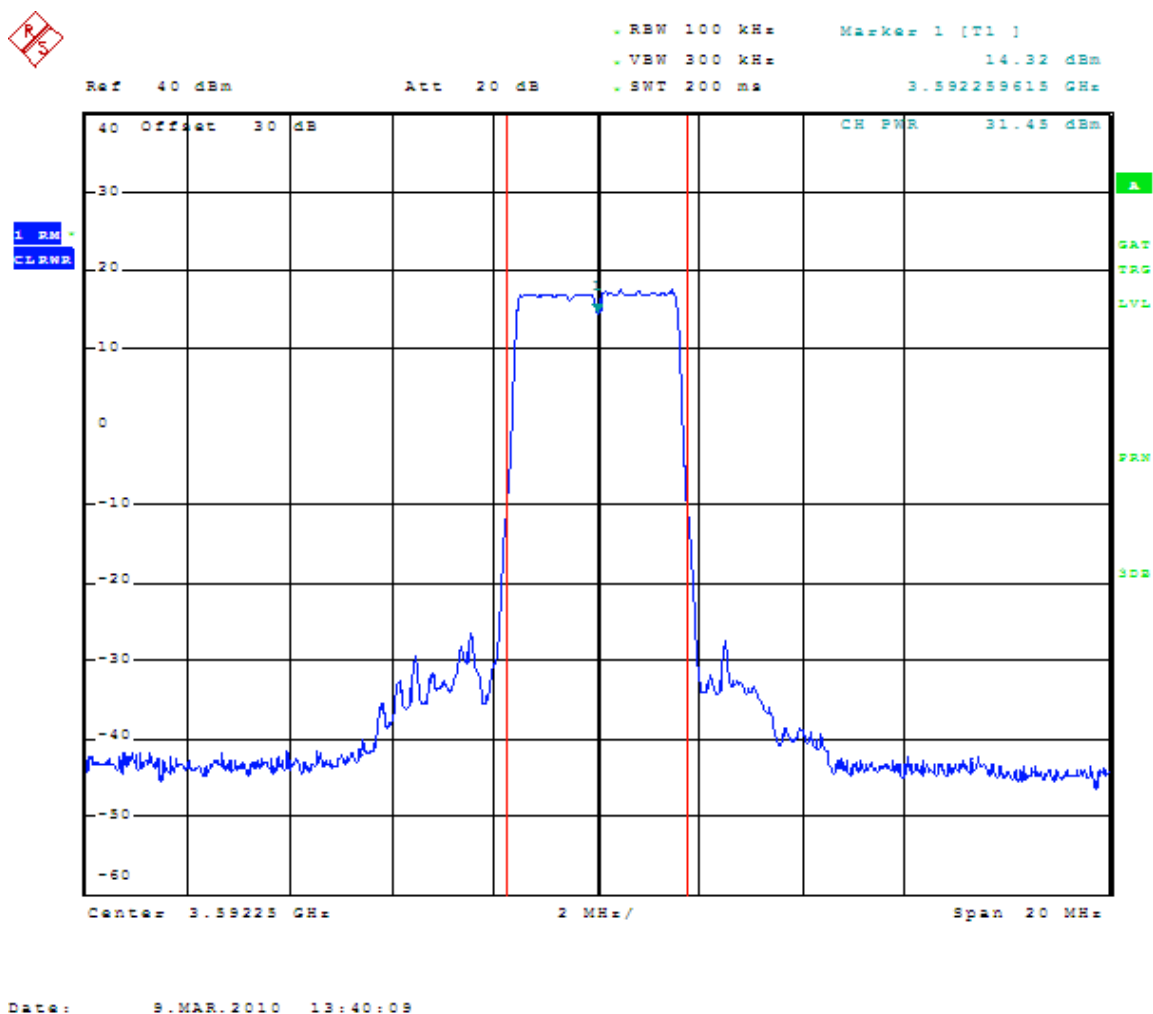
It is recommended to start with some initial measurements to register the actual transmitter frequency, bandwidth, power, framing and compare those parameters to the technical standard for which the transmitter was claimed to comply with.

To accomplish this analyser is connected to the output of the power attenuator (without the bandpass filter for now). Observe the considerations given in section A1.5.

The analyser should be set to RMS detection and the reference level be adjusted to the input power. One might also want to enter the level offset of the power attenuator to get true level readings for the transmitter output.

Now is a good point to switch to zero span mode and find out the parameters for the gated sweep, i.e. gate offset, gate length and IF trigger power level. Remember to set RBW according to the signal bandwidth.

Afterwards switch back to spectrum display and choose the RBW according to the precautions given in section A1.4.3, e.g. 100 kHz. Activate gated sweep using the parameters registered in zero span. One should now see the RMS transmitter output spectrum for the preamble. An example is given in Figure 4:



**Figure 4: Typical CS output spectrum**

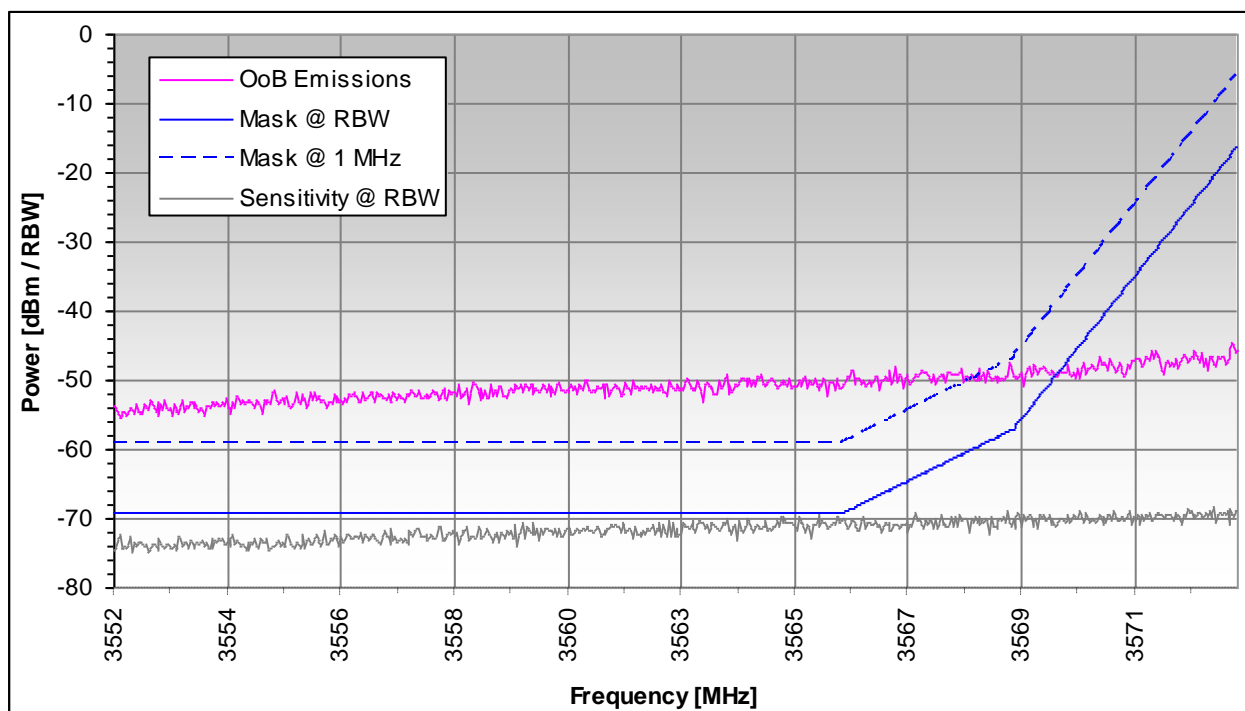
Now the filter is connected in-line as shown in the above Figure and tuned in such a way that the transmitter's in-block transmission is sufficiently suppressed while maintaining minimal attenuation in the OoB domain. It might be favourable to pre-align the filter using the tracking generator.

The reference level can now be reduced by the amount of achieved extra attenuation. If the filter is sufficiently steep one should now be able to achieve the maximum sensitivity of the analyser. It may be necessary to readjust the IF power level of the gated trigger.

Now Start and Stop frequency can be set to the desired OoB frequencies. When measuring the lower BEM the Stop frequency equals the assigned block edge frequency; for the upper BEM it's the Start frequency. The Span should be chosen adequately for the block size; e.g. 20 MHz for an assigned block size of 21 MHz. Now the BEM measurement is finally accomplished using the method as explained in section A1.4.2.

An example BEM measurement is shown in the Figure below.

The raw data have to be compensated for the filter response and the power attenuator or coupling ratio of the directional coupler (if not taken into account as *Level Offset*). The results are plotted along with the (re-normalised) BEM.



**Figure 5: Example of measurement of OoB emissions of a CS**

The diagram above shows the OoB emission of the transmitter (in purple), the re-normalized BEM in blue (“Mask @ RBW”), the original BEM (“Mask @ 1 MHz”) referenced to 1 MHz as a blue dashed line and the system sensitivity in grey. The original BEM is only needed in case the OoB emission includes single discrete spectral components (see section A1.4.3). In the above example only the re-normalized BEM is relevant for the assessment. The assigned block for the transmitter under test is 3573 ... 3594 MHz and the assessment were done in the lower adjacent block. The centre frequency of the wanted emission was 3592.25 MHz.

The measurement was made at a central station of a live IEEE 802.16-2009 [6] network referenced to the BEM as defined in ECC/REC/(04)05 [1].

## A2.6 SPECIAL RECOMMENDATIONS REGARDING SYSTEM SENSITIVITY

The sensitivity is a key parameter of every spectrum analyser and is usually stated as DANL. However, the sensitivity will be degraded by the selected resolution bandwidth, the power attenuator or the directive coupler, the unwanted passband attenuation of the filter, the analyser’s switchable attenuator (if needed) and the amplification of its internal signal chain; the latter one being depended of the reference level setting. This is why the analyser has to have a low DANL, although the rather relaxed limits of the BEM itself don’t call for high sensitivity on the first view.

To give an example assumes an analyser with a DANL of **-155 dBm/Hz**. This value will be degraded as follows:

- +50 dB RBW = 100 kHz
- +30 dB power attenuator at transmitter output
- + 4 dB passband attenuation of used band stop filter, frequency-dependent
- 
- 71 dBm.

The example measurement setup will end up with an effective system sensitivity of **-71 dBm**, which is barely good enough for the given BEM. Things will get even worse, if the analyser isn't operated with its maximum internal amplification. The amplification will be reduced on most analysers with reference levels above about -30 dBm (critical reference level). So a bandpass filter has to be selected that allows the reference level be kept on or below the critical reference level.

Additionally in the example above a "bad" filter with broad and flat amplitude response was used. This filter was just good enough, because the actual transmitter's frequency was sufficiently far away from the block edge.

Therefore it is important to plot the effective system sensitivity along with the measurement result to ensure the system sensitivity was sufficient. The raw data for the system sensitivity have to undergo the same compensation as the measurement data itself. As can be seen in Figure 5: the most critical point in respect to system sensitivity is the frequency with the lowest offset to the block edge, where the mask reaches the baseline level; i.e. point B in BEM definition see Figure 1:

DRAFT

## **ANNEX 3: ASSESSMENT OF THE BLOCK EDGE FOR LTE BASE STATIONS WITHIN THE FREQUENCY BAND 791-821 MHz**

### **A3.1 INTRODUCTION**

This Annex describes the assessment of block edge masks for LTE base station (BS) transmitters within the frequency band 791-821 MHz, also referred to as LTE800. The measurement principles recommended here are also applicable to LTE base stations in other frequency bands as long as the block edge mask concepts are equal.

Those interfaces are based on OFDM modulation. Supported modulations of the OFDM subcarriers include BPSK, QPSK, QAM. Channel bandwidths can be flexibly chosen between 1.4 MHz and 20 MHz. FDD and TDD duplexing is allowed. Multiplexing the downlink data streams for different users is done by OFDMA.

The transmission has a burst structure with modulation scheme, power and number of active OFDM carriers being variable, even within a single burst.

### **A3.2 BLOCK EDGE MASK FOR LTE800 BASE STATIONS**

Decision 2010/267/EU [11] of the European Commission defines the relevant BEM to a certain extent. Some figures, however, depend on the actual channelling plan. In order to be able to provide concrete figures, this recommendation uses an example where the downlink band 791-821 MHz is divided into three channels of 10 MHz bandwidth. The centre frequencies of the channels are 796, 806 and 816 MHz. This channelling plan is in accordance to ECC/DEC/(09)03 [12], but it is based on a block size of 5 MHz.

The BEM for LTE800 base stations consists of different sections, the OoB levels mostly being an absolute power, but referenced to different bandwidths. The transition points of the sections are sometimes defined as absolute frequencies and sometimes relative to the centre of the assigned channel.

The following figure illustrates the combined BEM.

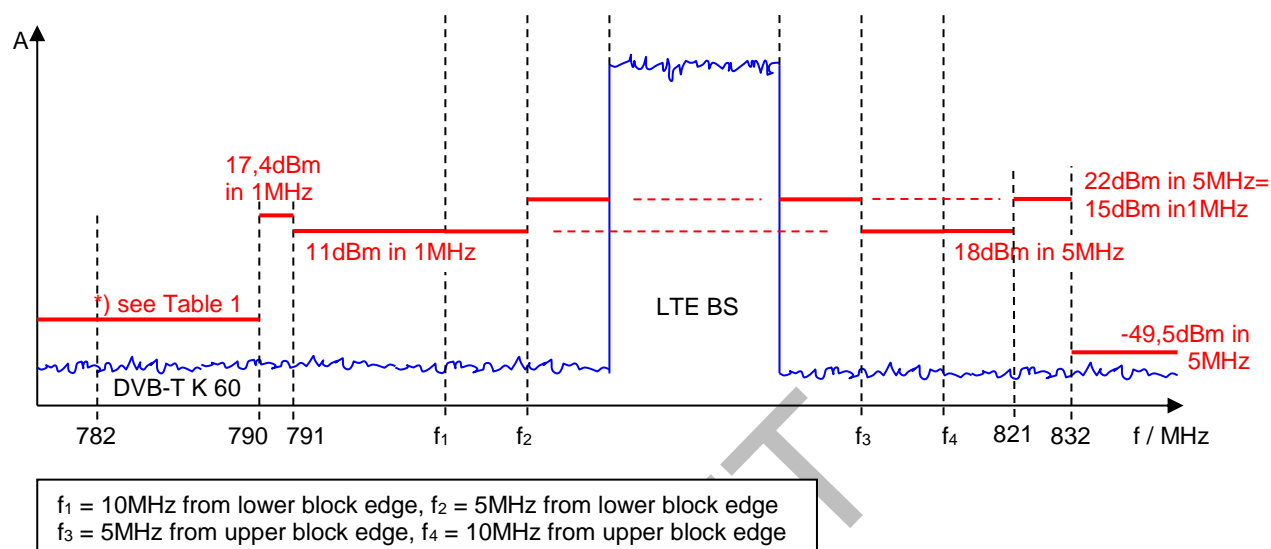


Figure 6: BEM for LTE800 BS according to ECC/DEC/(09)03

The OoB level in the TV band depends on the e.i.r.p. of the LTE800 base station and on whether DVB channel 60 is locally used or not.

Table 1: OoB limits for frequencies below 790 MHz

Case	Total e.i.r.p. of the LTE800 Base Station P	Maximum permissible out of Block e.i.r.p. in 8 MHz
A) Channel 60 is locally used	$P \geq 59 \text{ dBm}$ $44 \text{ dBm} \leq P < 59 \text{ dBm}$ $P < 44 \text{ dBm}$	0 dBm ( $P - 59$ ) dBm -15 dBm
B) Channel 60 is used and special local conditions apply	$P \geq 59 \text{ dBm}$ $44 \text{ dBm} \leq P < 59 \text{ dBm}$ $P < 44 \text{ dBm}$	10 dBm ( $P - 49$ ) dBm -5 dBm
C) Channel 60 is not locally used	(all powers)	22 dBm

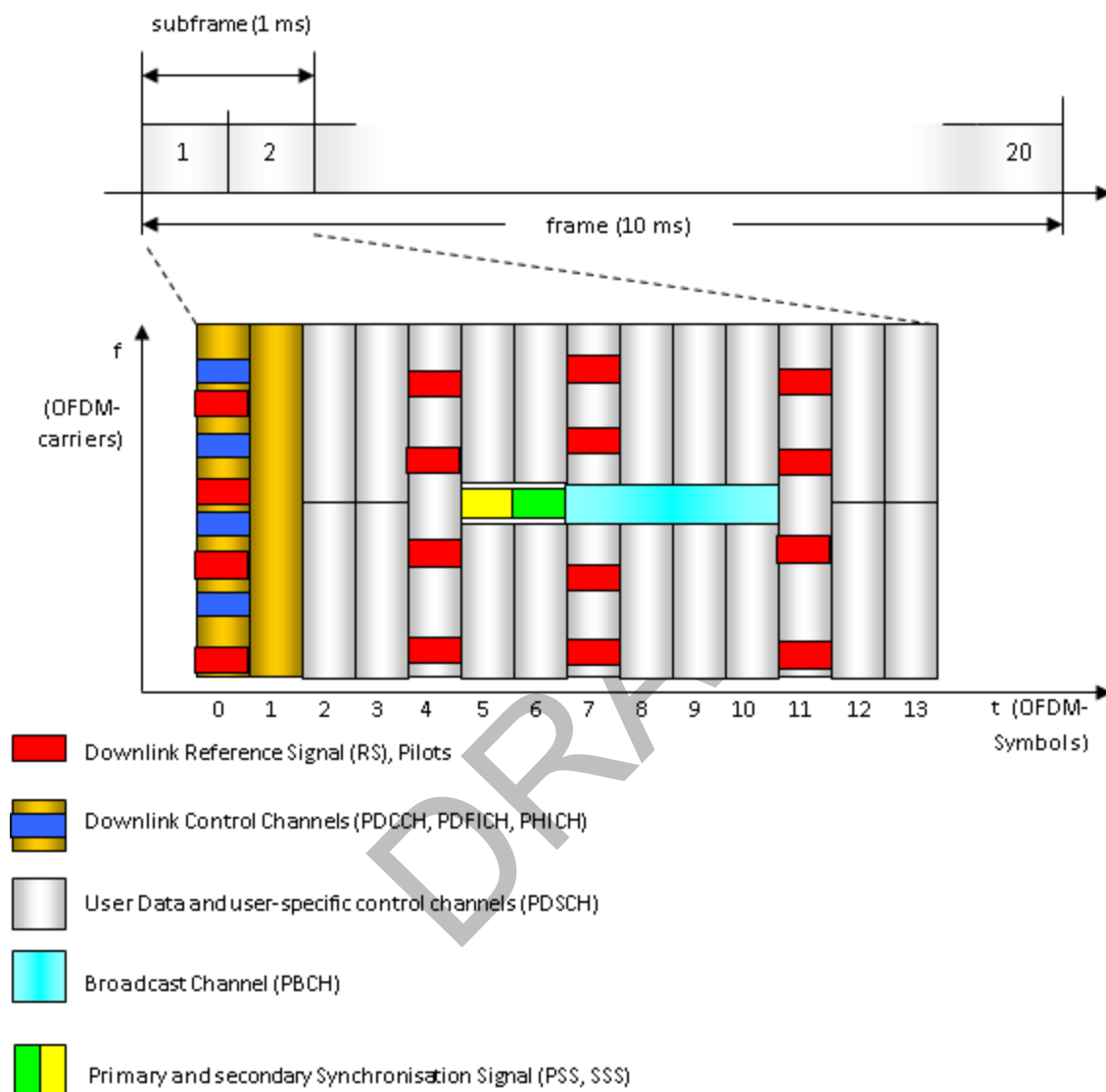
It can be seen that the limits for the different sections of the BEM are defined in absolute radiated power levels in different reference bandwidths ranging from 1 MHz to 8 MHz.

### A3.3 PROPERTIES AND STRUCTURE OF THE LTE800 BS SIGNAL

The downlink LTE800 signal is structured according to a scheme that uses so-called Resource Blocks (RB) as the smallest assignable unit. One RB consists of 12 OFDM subcarriers in frequency and 0.5 ms in time (6 or 7 OFDM symbols). In addition to resource blocks filled with user traffic, there are certain logical channels organising the traffic, allowing receiver synchronisation and broadcasting information on the BS.

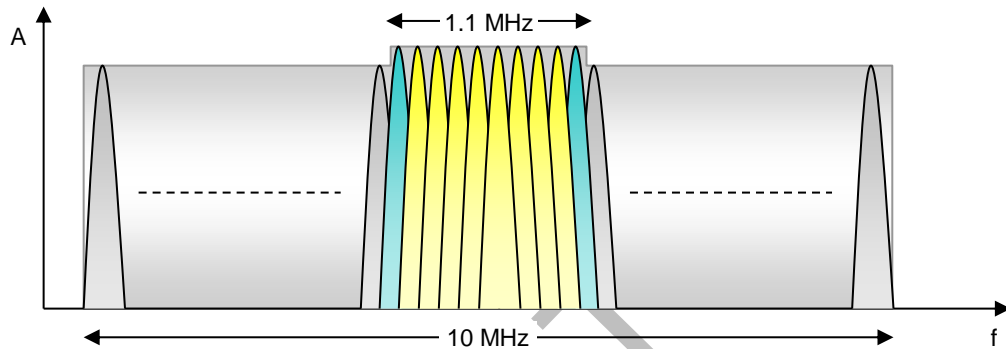


The following figure briefly shows the frame structure.



**Figure 7: LTE BS frame structure**

This frame structure results in a typical spectrum of an LTE BS not being fully loaded as the following Fig.8.



**Figure 8: Typical LTE BS spectrum**

Although in principle it is possible to “boost” certain symbols, the broadcast channel is normally not boosted. The 10 MHz wide LTE BS signal has a total of 600 OFDM carriers. The broadcast channel occupies the 72 inner OFDM carriers.

It is assumed that the base station operates at its maximum power if all 600 carriers have the same power as the inner 72 carriers at the time of the broadcast channel. So, from the measured level of the broadcast channel  $P_{PBCH}$ , the total maximum level of the base station  $P_{max}$  is calculated as follows:

$$P_{max} = P_{PBCH} + 10 * \log(600/72) = P_{PBCH} + 9.15dB \quad (1)$$

#### A3.4 MEASUREMENT APPROACHES AND THEIR APPLICABILITY

In principle, the following three different measurement approaches have to be distinguished:

- Radiated measurement (“off-air”) under normal operating conditions of the LTE base station;
- Conducted measurement under normal operating conditions of the LTE base station;
- Conducted measurement according to ETSI EN 301908-14 [9] while the LTE base station is in a defined test mode.

##### A3.4.1 Radiated measurement (“off-air”) under normal operating conditions of the LTE base station

The BEM is defined in absolute radiated power (see Section A3.2). A direct measurement would require measuring the emissions in the different blocks off-air and calculating back to the radiated power using free space formulas.

For practical reasons the measurement is done evaluating relative levels instead of absolute ones. This makes it possible to separate the process of the e.i.r.p. determination inside the wanted channel from the actual BEM measurement.

The reference for the relative evaluation is the in-channel power which may either be determined through a field strength measurement and calculation, or by simply retaining this information from the operator or licence and assuming that the value is correct.

Advantages of this method:

- The measurement can be performed at any time that is convenient to the monitoring service (no need to involve the network operator);
- The measurement can be performed under normal working conditions of the LTE base station (no interruption of the service necessary);

- There is no possibility for the network operator to make any “adjustments” to the station in order to pass the BEM compliance measurement.

Disadvantages of this method:

- The measurement relies on a number of prerequisites (see following sections) that may not be possible to meet in all cases;
- Emissions from other transmitters may make evaluation of some sections of the BEM impossible;
- In some cases the measurement uncertainty may be higher than that of a conducted measurement;
- The method may not reveal the maximum possible sideband emissions of the LTE base station.

Nevertheless, for practical monitoring applications, the radiated measurement under normal working conditions will be the only method available in most cases.

#### **A3.4.2 Conducted measurement under normal working conditions**

It is also possible to measure the BEM compliance conducted at the transmitter output. In this case, feeder cable attenuation and transmit antenna gain have to be assumed or measured and the radiated power in each section of the BEM is calculated.

Advantages of this method:

- There will always be sufficient signal level available to measure the full range of the BEM;
- Emissions from other transmitters cannot influence the result;
- If the feeder cable attenuation and antenna gain can be determined accurately, the measurement uncertainty is lower than that of the radiated measurement;
- The measurement process is simpler because a notch filter can be used (see Section A3.5.3.3) and the process of determination of a suitable measurement location is not necessary.

Disadvantages of this method:

- An appointment with the network operator has to be made to access the station and the measurement cannot be scheduled independently;
- If no test output is available, a short disruption of the service is necessary during insertion of a directional coupler at the antenna port;
- The method may not reveal the maximum possible sideband emissions of the LTE base station.

#### **A3.4.3 Conducted measurement according to ETSI EN 301 908 while the LTE base station is in a defined test mode**

This measurement is also performed at the transmitter output port, but following the procedures laid down in the harmonised standard ETSI EN 301 908-14 [9]. One of the prerequisites of measurements according to this standard is that the LTE base station operates in defined test modes where all OFDM carriers are continuously transmitted with maximum power.

Advantages of this method:

- The defined test mode will stipulate the maximum possible out-of-block emissions of the LTE base station, a situation that may not occur during measurements under normal operating conditions;
- If the feeder cable attenuation and antenna gain can be determined accurately, the measurement uncertainty is lower than that of the radiated measurement;
- Because of the defined test mode, this measurement method has the highest reproducibility.

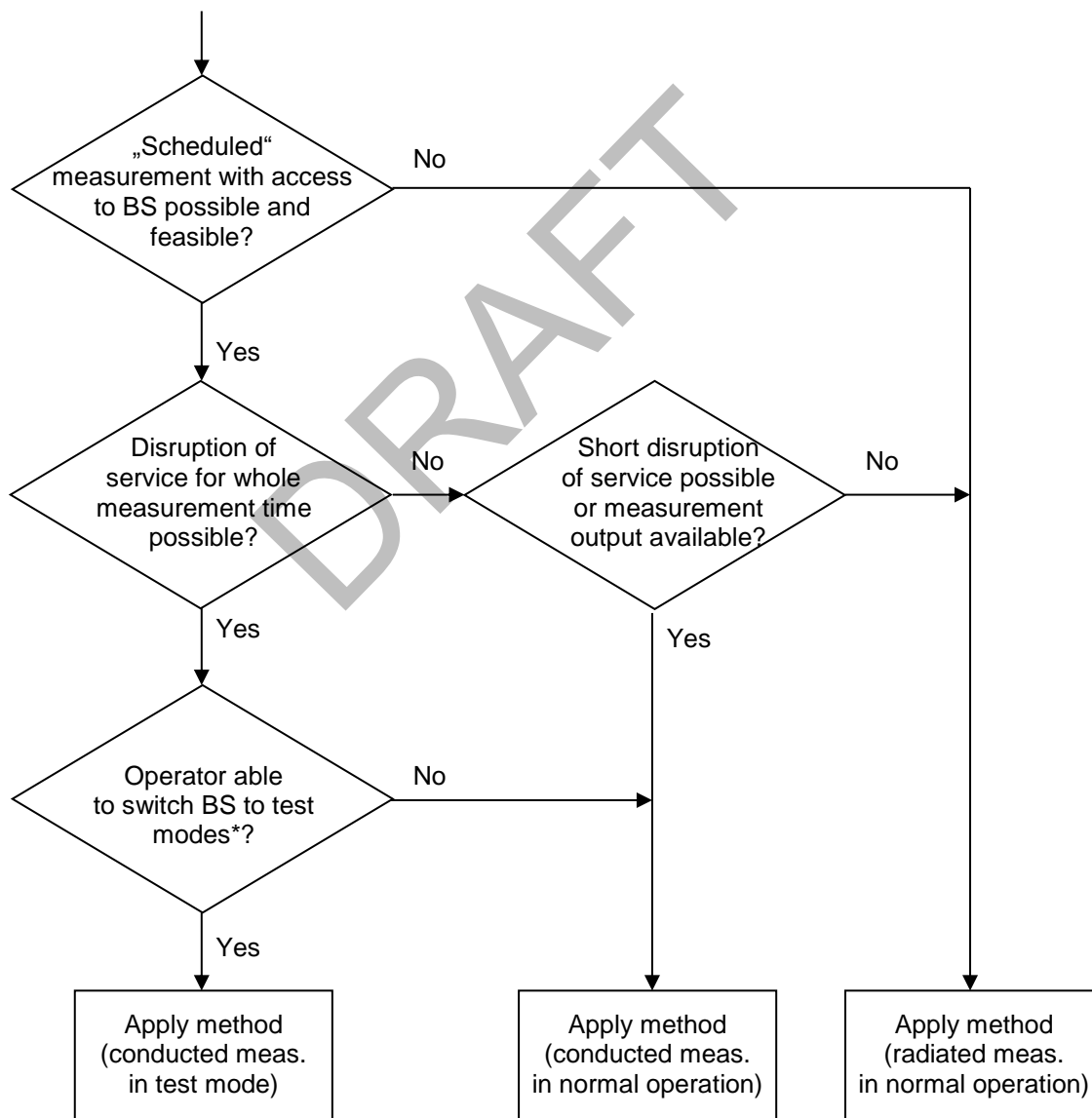
Disadvantages of this method:

- Normal service of the LTE base station is disrupted for the whole time of the measurement;
- An appointment with the network operator has to be made to access the station and the measurement cannot be scheduled independently;
- The measurement requires skilled personnel of the network operator that is able to reliably set the LTE based station into the required test mode.

Although this measurement method may be the most accurate one, it is of little practical relevance for monitoring services because the network operator will often not agree to the long disruption of the service.

#### A3.4.4 Decision flowchart

The following flowchart in the figure below provides guidance on when to apply which of the three measurement methods.



\*) Test modes to be used are E-TM 1.1 and E-TM 1.2 described in clause 6.1.1.1 and 6.1.1.2 of ETSI TS 136 141 [10]

**Figure 9: Decision flowchart**

### A3.5 MEASUREMENTS UNDER NORMAL WORKING CONDITIONS OF THE LTE BASE STATION

#### A3.5.1 Converting the absolute block edge mask into a relative mask

To directly compare the BEM limits to measured channel powers, the BEM has to be converted from absolute into relative spectral density levels, referenced to the spectral density inside the wanted channel, measured in the same bandwidth. The following table illustrates the conversion of the BEM in Figure 6: for an example where the maximum e.i.r.p. of a 10 MHz wide LTE base station on 806 MHz is +59 dBm and the TV channel 60 is locally used.

**Table 2: BEM in relative levels for an example LTE base station on 806 MHz, in-block e.i.r.p. is 56 dBm/5 MHz**

Offset from LTE centre frequency	Frequency range	e.i.r.p. limit according to BEM definition [ECC/DEC(09)03]	Reference bandwidth	Level	Relative level
< -16 MHz	< 790 MHz	0 dBm	8 MHz	-9 dBm/MHz	-58 dB
-16...-15 MHz	790...791 MHz	17.4 dBm	1 MHz	17.4 dBm/MHz	-31.6 dB
-15...-10 MHz	791...796 MHz	18 dBm	5 MHz	11 dBm/MHz	-38 dB
-10...-5 MHz	796...801 MHz	22 dBm	5 MHz	15 dBm/MHz	-34 dB
-5...+5 MHz	801...811 MHz	59 dBm	10 MHz	49 dBm/MHz	0 dB
+5...+10 MHz	811...816 MHz	22 dBm	5 MHz	15 dBm/MHz	-34dB
+10...+15 MHz	816...821 MHz	18 dBm	5 MHz	11 dBm/MHz	-38 dB
+15...+26 MHz	821...832 MHz	11 dBm	1 MHz	11 dBm/MHz	-38 dB

Example:

The relative level of -58 dB for the frequency range below 790 MHz is derived as follows: According to Table 1, if channel 60 is locally used, the limit in Case A (row 1) applies. For stations with an e.i.r.p. of 59 dBm, the maximum absolute level of sideband emissions is 0 dBm in a reference bandwidth of 8 MHz. This relates to an absolute level of -9 dBm in 1 MHz bandwidth by applying the bandwidth conversion described in A3.5.4 (formula 3). The 0 dB reference level in-band of a station with a total power of 59 dBm in 10 MHz bandwidth relates to 49 dBm in 1 MHz bandwidth. The absolute sideband level of -9 dBm/MHz is therefore 58 dB lower than the in-band reference level of 49 dBm/MHz. This difference is stated in the right column of table 2 as the relative level in dB/MHz.

To achieve a reasonable accuracy of the measurement, especially near the block edges, it is necessary to perform the actual measurement with a much smaller bandwidth than the reference bandwidths.

The measurement may be done with a spectrum analyser in the zero span mode or a measurement receiver. The required range of the spectrum is scanned in steps of the measurement bandwidth. The highest RMS level inside a certain measurement time is recorded and stored. Then, from all stored samples, the channel power is calculated for each section of the BEM and compared to the channel power measured inside the wanted channel.

As can be seen from the table above, the low out-of-block power limits require a dynamic range of the measurement in excess of 100 dB which cannot be provided by any spectrum analyser or receiver. It is therefore necessary to suppress the main LTE emission by a filter in order to allow sensitive measurement in the sideband range without overloading the receiver. This can be either a band pass filter for the sideband

range to be measured, or a band stop filter for the main LTE emission. In environments where more than one LTE block is transmitted from one site, a band pass filter is mandatory.

### A3.5.2 Measurement Prerequisites

The most important prerequisites for a BEM compliance measurement with acceptable accuracy are:

- Sufficient wanted signal level;
- Sufficient suppression of other emissions in the frequency range in question.

The necessary input levels are described in Section A3.5.1. “Other emissions” include those from other LTE stations located at the same site.

If the measurement is performed off-air, it may only be used if all the following prerequisites are fulfilled:

- The level or the limit of the LTE sideband emissions in each section of the BEM is above the system sensitivity;
- The sideband level of other stations is at least 10 dB below the sideband level of the measured LTE station in each frequency range;
- No other LTE stations in the 800 MHz range are located on the same site as the measured LTE station. Should this be the case, the out-of-block emissions cannot be assigned to one of the LTE transmitters, i.e. if the BEM is exceeded, an additional measurement at the transmitter output has to be performed.

The required out-of-block suppression in the frequency range above 832 MHz is so high that in most cases it won't be possible to measure them off-air because of insufficient signal level.

#### A3.5.2.1 Required signal level

The following table provides guidance on the minimum required input level and the frequency ranges that may be measured. The table below assumes the sensitivity of common spectrum analysers with internal preamplifiers (noise figure 10 dB), the maximum in-band e.i.r.p. of 56 dBm/5 MHz and that the noise level of the spectrum analyser is 6 dB below the lowest part of the mask.

**Table 3: Minimum required input levels for BEM measurement**

Wanted signal level at measurement antenna (Peak/MaxHold in 1 MHz RBW)	BEM Measurement possible in the frequency range
< -50 dBm	No measurement possible
≥ -50 dBm	790 ... 832 MHz
≥ -30 dBm	< 790 ... 832 MHz (TV channel 60 used)
≥ 15 dBm	< 790 ... 862 MHz (whole range of BEM)

#### A3.5.2.2 Suppression of signals from other transmitters

For the proper assessment of the BEM compliance, the level of the signals of other transmitters should be at least 6 dB below the mask.

In the frequency band(s) where this suppression requirement is not met, the measurement cannot provide a valid result.

For the particular example in A3.5.1 (e.i.r.p.: 56 dBm/5 MHz), the maximum spectral density levels of the other transmitters – relative to the wanted in-band LTE signal – are shown in the following table.

**Table 4: Maximum relative level of the other (unwanted) transmitter**

Offset from LTE centre frequency	Frequency range	Max. relative level of the other transmitter (Peak in 1 MHz RBW)
< -16 MHz	< 790 MHz	-64 dB
-16...-15 MHz	790...791 MHz	-37.6 dB
-15...-10 MHz	791...796 MHz	-44 dB
-10...-5 MHz	796...801 MHz	-40 dB
-5...+5 MHz	801...811 MHz	-6 dB
+5...+10 MHz	811...816 MHz	-40dB
+10...+15 MHz	816...821 MHz	-44 dB
+15...+26 MHz	821...832 MHz	-44 dB
> 26 MHz	> 832 MHz	-111.5 dB

The requirements for the suppression of the other transmitters are the most demanding on the frequencies above 832 MHz – in the FDD uplink band where the mobile terminal stations transmit. While the suppression of the unwanted fixed transmitters (base stations and broadcasting transmitters) can be improved by the proper selection of the measurement location and using directional antennas, this method cannot be used for the suppression of the signals of the mobile terminal stations. The mobile terminals – operated by a walking person or in a moving car – may change their position and transmit power fast during the measurement time. The signal coming from the mobile may lead to a false indication that the emission of the measured base station exceeds the BEM. The sufficiently low signal level from the mobile terminals to the measurement setup can be ensured by keeping them out of a protective distance from each other. Assuming 0 dB antenna gains on the transmitter and on the receiver side as well, 23 dBm transmit power of the mobile terminal and free space propagation, the necessary protective distance is about 230 meter. In practice one can rarely be sure that there is no operating mobile terminal in such a large area, especially in an urban environment. Consequently if the off-air measurement indicates an infringement of the BEM requirements in the FDD uplink band, it does not necessarily mean that the emissions originate from the base station. Then the results may be confirmed by a conducted measurement.

### **A3.5.3 Measurement Procedure**

#### ***A3.5.3.1 Selecting a suitable measurement location***

This section only applies if the measurement is performed off-air.

The main aim is to find a measurement location that provides the highest possible receive level. However, the measurement location has to be in the far field of the transmit antenna (see Annex 1 Section A1.5.7 for guidance on the calculation of the far field distance).

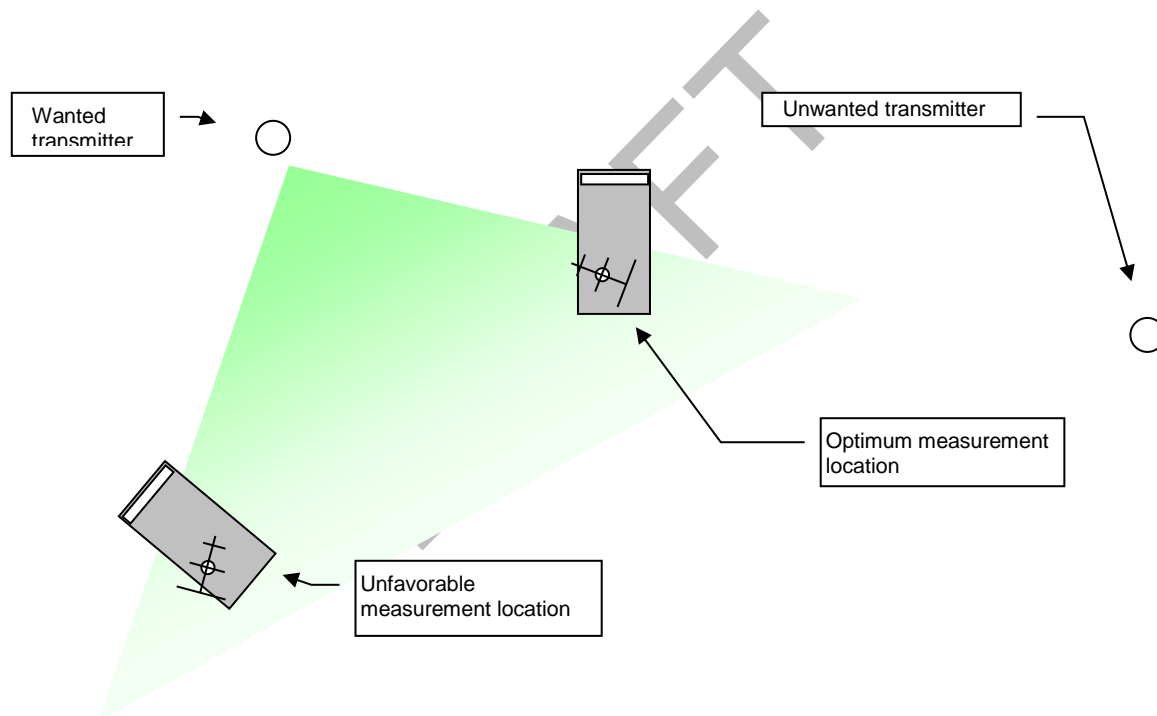
If signals from other stations are present in the frequency range in question, the location also has to provide good suppression of these other signals using the directivity of the measurement antenna. Many highly directive antennas have good front-to-back ratio, in which case it would be ideal to select a location close to the wanted transmitter but along a straight line between wanted and unwanted transmitter(s).

If planning tools are available, they can be used to plot the area where the main beam of the wanted LTE base station is 10 m above ground or less. A typical down tilt of the transmit antenna of 5° may be assumed for this calculation.

To find the actual location with maximum receive level, the area in question may be searched with the measurement car using a non-directional antenna at rooftop height and the following analyser settings:

- Centre Frequency: Centre of wanted LTE transmission ( $F_w$ );
- Span: Zero;
- RBW: 1 MHz;
- Detector: MaxPeak;
- Trace: ClearWrite;
- Sweep time: 100 s.

For the actual BEM measurement a directive measurement antenna has to be used.



**Figure 10: Sample measurement locations (sketch is not in a true scale)**

#### *A3.5.3.2 Measurement of wanted and unwanted signal level*

The level measurement of the wanted and any unwanted signals in the BEM frequency range is measured with the directional antenna pointed towards the wanted transmitter and using the following analyser settings:

- Start Frequency: 780 MHz
- Stop Frequency: 840 MHz
- RBW: 1 MHz
- Detector: MaxPeak
- Ref. Level: adjust that the peaks are just below the upper display limit
- Attenuation: reduce as far as possible avoiding overload
- Preamplifier: on
- Trace: MaxHold
- Sweep time: (automatic).

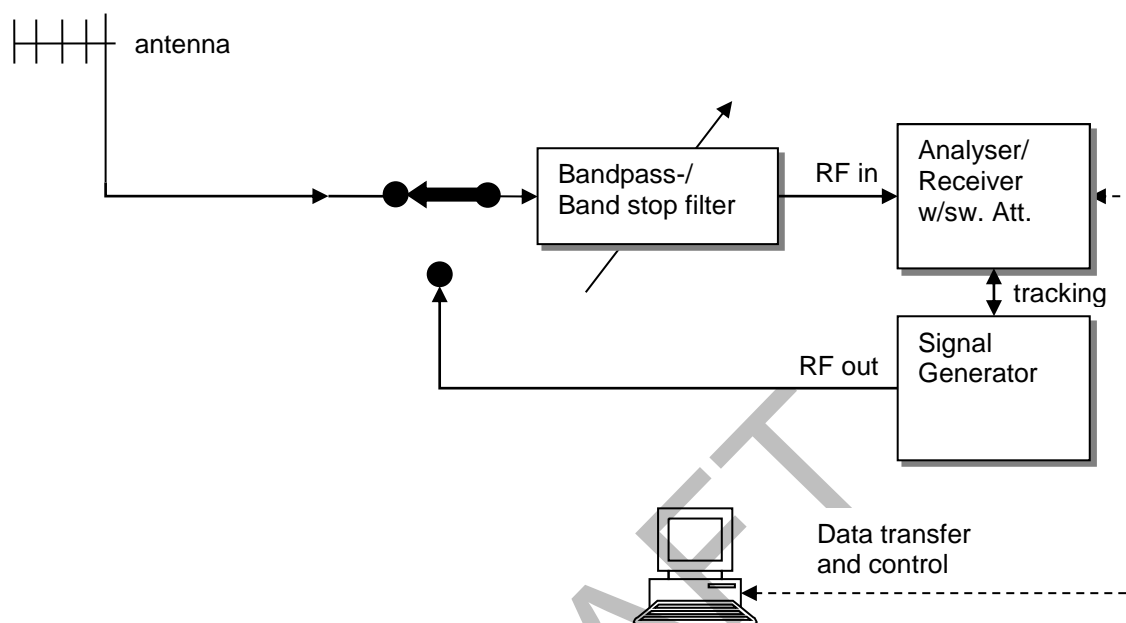
The required wanted signal level is shown in Table 3. If it is not reached, another measurement location has to be found.

The required C/I (difference between wanted and unwanted signals) is taken from Table 4. If these values cannot be reached, the respective frequency range cannot be measured or another measurement location has to be found.



### A3.5.3.3 BEM Compliance Measurement

The measurement setup is as follows:



**Figure 11: BEM Measurement setup**

If the measurement is done off-air, a high gain directional antenna has to be used. If a conducted measurement is performed, the antenna in Figure 10 is replaced by the test output of the LTE transmitter, after the final stage of the amplifier.

The measurement receiver or spectrum analyser has to be computer-controlled. A computer programme has to step sequentially through the required frequency range, dynamically applying the necessary attenuation to avoid overloading the receiver, collecting level data on each frequency and store the results to memory.

If no strong emissions from other transmitters are present, a notch filter tuned to the centre of the LTE channel to be measured may be used. This has the advantage that the whole range of the BEM can be measured in one step. If strong signals from other transmitters are present that may overload the receiver, a band pass filter tuned to a certain section of the BEM has to be used. With this setup, only the BEM section inside the passband range of the filter can be measured in one step. To assess the whole range of the BEM, multiple sections have to be measured sequentially while always re-tuning the filter accordingly.

Tuneable 3-cavity or 5-cavity filters may be used. Steeper filter response curves enable measurements with higher dynamic range.

If a spectrum analyser is used, the following settings apply:

- Span: Zero
- RBW: 100 kHz
- VBW:  $\geq 300$  kHz
- Detector: RMS
- Sweep time:  $71.3 \mu\text{s} \times \text{horizontal display points}$
- Trace: MaxHold over 10 sweeps or more.

The sweep time ensures that each horizontal display pixel represents the RMS value of one LTE symbol. The MaxHold function over 10 sweeps collects at least 30 LTE radio frames and holds the symbol with the highest RMS level.

If a measurement receiver is used, the following settings apply:

- IF bandwidth: 100 kHz
- Detector: RMS
- Measurement time: 400 ms
- Store the maximum measured RMS level.

The step width to the next frequency to be measured is 50 kHz (half of the RBW or IF-bandwidth, respectively).

If an FFT equipment is used, due to the complexity of the LTE BEM, and taking in to account the amount of memory, storage capacity and processing capacities, the maximum Real Time Bandwidth should be applied should be applied, in order to get as much of the bandwidth of the signal and the maximum measurement time that the equipment makes available or, if possible, to apply a trigger frequency mask.

The processing of the acquired signal should be done according the following:

- Transform: Short-Time Fourier Transform (STFT)
- Window: Rectangular
- Window Length: 2048 or 4096
- Frequency Bins: From 512 to 2048

It should be considered that the captured signal could be divided in smaller portions of samples for analysis, as big as the processing hardware and software can manage them.

#### ***A3.5.3.4 Filter measurement***

The signal from the antenna is replaced by the signal from a tracking generator (either built-in to the receiver or external). Then, the measurement described in Section A3.5.3.3 above is repeated for the same frequency range and with the same settings and the filter attenuation is stored in memory.

#### ***A3.5.3.5 Measurement of the system noise level***

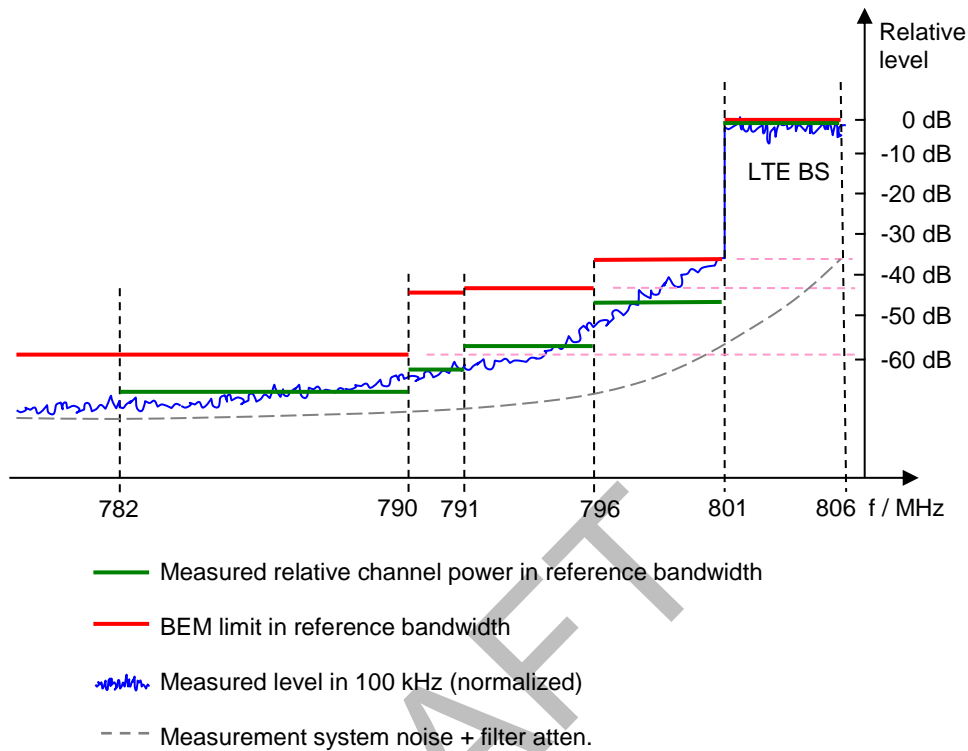
The antenna port of the measurement setup is terminated with 50 Ohm. Using the same receiver/analyser settings as described in A.3.5.3.3 above, the indicated noise level on one frequency inside the measured range is noted.

### **A3.5.4 Result evaluation**

First, all level values measured in Section A3.5.3.3 are corrected by the filter attenuation measured in A3.5.3.4 on the same frequency.

Then, all corrected samples inside a section of the BEM (see Figure 6) have to be linearly integrated over the respective reference bandwidth (see Table 1). The result is a series of average power density values, which can be compared to the relative BEM that was prepared as in Table 2.

The result may be displayed in a graph like in Figure 12 below:



**Figure 12: Sample result of BEM measurement**

The line “Measurement system noise + filter attenuation” should be shown to assess whether the measured signal originated from the LTE transmitter or is in fact already receiver noise. The value of the sensitivity line is calculated by the noise level measured in Section A3.5.3.5 plus the filter attenuation on each frequency measured in Section A3.5.3.4.

The trace with the measured sideband spectrum should be shown to have a comparison with the system sensitivity line. For better readability, both lines may be normalised so that the maximum measured in-band spectral density is in line with the 0 dB reference point of the BEM in-channel

The necessary bandwidth correction is done according to

$$P_{RBW} = P_{BEM} - 10 * \log\left(\frac{\text{reference bandwidth}}{\text{measurement bandwidth}}\right) \quad (2)$$

with

$P_{RBW}$  = level in measurement bandwidth (100 kHz)

$P_{BEM}$  = level in reference bandwidth of the BEM (e. g. 1 MHz).

### A3.5.5 Enhancing the measurement sensitivity

To ensure correct measurements of the out-of-block emissions, the measured level should be at least 10 dB above the level of the sensitivity line. Because the nature of the sideband emissions can be assumed to have a noise-like character in the frequency domain, the measurement sensitivity may be increased by linearly subtracting the system noise level determined under A3.5.3.5 from each measured out-of-block level.

However, the measurement uncertainty of this method increases considerably if applied to out-of-block levels that are below the system noise. Therefore it is recommended to apply this correction only to measured values down to the system noise using the following formula:

$$\text{if } P_{\text{meas}} > P_0, \text{ then } P_{\text{corr}} = \left\{ 10 * \log \left( 10^{\frac{P_{\text{meas}}}{10}} - 10^{\frac{P_0}{10}} \right) \right\}, \text{ else } P_{\text{corr}} = P_0 \quad (3)$$

with

$P_{\text{corr}}$  = Corrected out-of-block level in dBm

$P_{\text{meas}}$  = measured out-of-block level in dBm

$P_0$  = measured system noise level in dB

When the above method is used, the measurement is valid as long as the corrected level is above the sensitivity line. This provides an enhancement of the measurement sensitivity by about 7 dB.

### A3.6 CONDUCTED MEASUREMENT USING A TEST SIGNAL AT THE LTE BASE STATION

#### A3.6.1 References for the test procedure and provisions

Procedures for measuring Base Station conducted emissions in test modes are described in detail in the LTE (E-UTRA) Base Station harmonised European standard ETSI EN 301 908-14 [9], with support in terms of test models and other detailed conditions in ETSI TS 136 141 [10]. A BEM sets out-of-block limits, which are normally defined as e.i.r.p. These are related to the unwanted emissions from the BS. Some BEM provisions may in addition be set as in-block limits, which are defined as e.i.r.p. for frequencies inside the operator's license block. In-block emissions are intended emissions from the BS and are related to the BS output power.

The relevant test suites that can be found in EN 301 908-14 [9]:

- The test suite for operating band unwanted emissions in clause 5.3.1 of EN 301 908-14 [9] covers conducted measurements of out-of-block emissions within the supported operating band, and for the 10 MHz immediately above and the 10 MHz immediately below the operating band.
- The test suite for spurious emissions in clause 5.3.3 of EN 301 908-14 [9] covers conducted measurements of emissions for the remaining frequencies in the spurious domain.
- The test suite for Base Station maximum output power in clause 5.3.4 of EN 301 908-14 [9] covers conducted measurements of the transmitted power of an in-block LTE carrier.

The test suites in EN 301 908-14 [9] define the test environment, describe how to set up the initial conditions for the test and provide a step-wise test procedure. A fundamental part of the test procedure is to set up a pre-defined set of channels for the BS transmitted signal, in order to provide a consistent test condition where the out-of-block emissions are assumed to be at maximum. These so-called "test models" to use in the measurements are described in detail in clauses 6.1.1.1 and 6.1.1.2 of ETSI TS 136 141 [10]. These test models basically configure the Base Station to continuously transmit all OFDM carriers with full power which is assumed to stimulate the maximum sideband emissions.

The measurement procedures apply for a number of different Base Station configurations. Annex B of EN 301 908-14 [9] describes how to apply the test suites for a BS with duplexer, different power supply options, ancillary amplifiers, antenna arrays, transmit diversity, MIMO operation and integrated modem for Remote Electrical Tilting of antennas (RET).

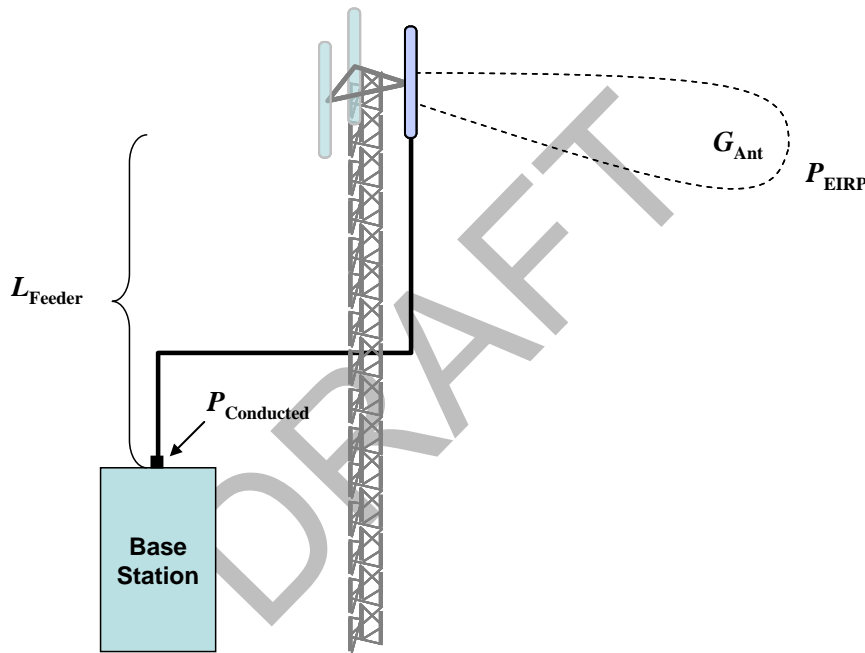
The resolution bandwidth (RBW) of the conducted measurement may be smaller than the reference BW for the BEM, in order to improve measurement accuracy, sensitivity, efficiency or to avoid carrier leakage. The measurements then need to be normalised to the reference BW using the principles in Section A.3.5.4 of the present document.

#### A3.6.2 Result evaluation

The immediate results of conducted measurement can only be referenced to the transmitter output while the BEM limits are referenced to e.i.r.p. If it can be assumed that all elements after the transmitter output such as duplexer, feeder cable and antenna have the same properties for both the in-block and out-of-block frequency ranges, the BEM can be converted into relative levels as described in Section A3.5.1 which allows direct comparison of the measured levels with the BEM limits.

Alternatively, the measured levels can be converted into radiated power using information about the Base Station setup.

In a typical deployment example as shown in Figure 13, a Base Station is connected to an antenna with a certain antenna gain  $G_{Ant}$  by means of a feeder, where the total feeder losses are  $L_{Feeder}$  including cable and connector losses.



**Figure 13: Typical LTE800 Base Station setup**

The emissions in the BEM frequency ranges are measured as conducted emissions at the BS antenna connector according to Section A3.6.1 as  $P_{Conducted}$ . The corresponding radiated emissions for evaluation against the BEM requirements, expressed as  $P_{EIRP}$  are:

$$P_{EIRP} = P_{Conducted} + G_{Ant} - L_{Feeder} \quad (4)$$

The resulting in-block and out-of-block levels can then directly be compared with the BEM limits and presented in a graph similar to the example shown in Figure 12.

For measurement uncertainty calculations, the methods stated in ETSI TR 100 028 v.1.4.1 [8] should be applied.

## ANNEX 4: ASSESSMENT OF THE BLOCK EDGE FOR LTE BASE STATIONS WITHIN THE FREQUENCY BAND 753-791 MHz

### A4.1 INTRODUCTION

This annex describes the assessment of block edge masks for LTE base station (BS) transmitters within the frequency band 758-788 MHz, also referred to as LTE700. The measurement principles are identical to the ones described in Annex 3 on LTE800 base stations. The current Annex therefore only describes major differences of LTE700.

In addition, ECC Decision (16)02 defines technical conditions and frequency bands for the implementation of Broadband Public Protection and Disaster Relief (BB-PPDR) systems in 698-703 MHz (uplink) / 753-758 MHz (downlink), in 703-733 MHz (uplink) / 758-788 MHz (downlink) those specified in ECC/DEC/(15)01 (see A4.2 for requirements), and 733-736 MHz (uplink) / 788-791 MHz (downlink). For the downlinks in 753-758 MHz as well as 788-791 MHz, this Annex can also be applied, see section A4.4 for BB-PPDR applicable requirements.

### A4.2 BLOCK EDGE MASK FOR LTE700 MFCN BASE STATIONS

ECC Decision (15)01 [13] defines the technical conditions, including the relevant BEM for the LTE700 system also called Mobile/Fixed Communication Networks (MFCN). The transmit frequency range of FDD base stations is 758 to 788 MHz with a corresponding uplink band between 703 and 733 MHz. It is recommended to use continuous blocks of 5 MHz bandwidth. Guard bands to protect digital terrestrial television (DTT) and LTE800 are defined from 694 to 703 MHz and from 788 to 791 MHz.

The frequency range from 738 to 758 MHz in the FDD duplex gap may be used on a national basis for:

- Additional unpaired supplemental LTE downlink blocks (SDL) (738-758 MHz)
- Programme Making and Special Events (PMSE),
- Broadband Public Protection and Disaster Relief (PPDR) (UL:733-736 MHz / DL: 753-758 MHz)
- Machine to Machine (M2M) (733-736MHz)

Block edge masks for LTE700 are more complex than for LTE800 because the levels of unwanted emissions depend not only on absolute and relative frequencies but also on the intended usage of the frequency band concerned. The LTE700 BEM consists of the following elements:

**Table 5: LTE700 BS BEM elements according to ECC/DEC(15)01**

In-block	Block for which the BEM is derived.
Baseline	Spectrum used for MFCN UL and DL (including SDL, if applicable), for DTT, for MFCN above 790 MHz (UL and DL), for BB-PPDR or M2M UL or DL
Transitional region	The transitional region applies from 0 to 10 MHz below and above the block assigned to the operator, except from in the uplink region of MFCN (703-733 MHz), BB-PPDR or M2M.
Guard bands	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Spectrum between the DTT allocation below 694 MHz and the lower edge of the MFCN uplink (694-703 MHz);</li> <li>- Spectrum between the upper edge of MFCN downlink below 788 MHz and the lower edge of MFCN downlink above 790 MHz (if applicable) (788-791 MHz).</li> </ul> <p>In case of overlap between transitional regions and guard bands, transitional power limits are used. When spectrum is used by BB-PPDR or M2M baseline or transitional power limits are used.</p>

Duplex Gap	Spectrum in the FDD duplex gap which is not used by SDL, BB-PPDR or M2M. In case of overlap between transitional regions and the part of the FDD duplex gap not used by SDL, BB-PPDR or M2M, transitional power limits are used.
------------	--

The maximum in-block power is defined as 64 dBm per antenna in 5 MHz reference bandwidth.

DRAFT

The baseline limits are as follows:

**Table 6: LTE700 BS baseline requirements**

Frequency range	Bandwidth of protected block	Maximum mean e.i.r.p.	Reference bandwidth
DTT frequencies below 694 MHz	8 MHz	-23 dBm per cell <sup>(1)</sup>	8 MHz
Uplink frequencies in the range 698-743 MHz <sup>(2)</sup>	≥ 5 MHz	-50 dBm per cell <sup>(1)</sup>	5 MHz
	3 MHz	-52 dBm per cell <sup>(1)</sup>	3 MHz <sup>(2)</sup>
	≤ 3 MHz	-64 dBm per cell <sup>(1)</sup>	200 kHz <sup>(2)</sup>
Uplink frequencies in the range 832-862 MHz	≥ 5 MHz	-49 dBm per cell <sup>(1)</sup>	5 MHz
Downlink frequencies in the range 738-791 MHz	≥ 5 MHz	16 dBm per antenna	5 MHz
	3 MHz	14 dBm per antenna	3 MHz
	< 3 MHz	2 dBm per antenna	200 kHz
Downlink frequencies in the range 791-821 MHz	≥ 5 MHz	16 dBm per antenna	5 MHz

<sup>(1)</sup> In a multi sector site “cell” refers to one of the sectors.

<sup>(2)</sup> Administrations may select a measurement bandwidth of 3 MHz or 200 kHz for protection of block size 3 MHz depending on national options implemented.

The limits for the transition frequency bands are as follows:

**Table 7: LTE700 BS transition requirements in the range 733-788 MHz**

Frequency range	Maximum mean e.i.r.p.	Reference bandwidth
-10 to -5 MHz from lower block edge	18 dBm per antenna	5 MHz
-5 to 0 MHz from lower block edge	22 dBm per antenna	5 MHz
0 to +5 MHz from upper block edge	22 dBm per antenna	5 MHz
+5 to +10 MHz from upper block edge	18 dBm per antenna	5 MHz



**Table 8: LTE700 BS transition requirements above 788 MHz**

Frequency range	Maximum mean e.i.r.p.	Reference bandwidth
791-796 MHz for block with upper edge at 788 MHz	19 dBm per antenna	5 MHz
791-796 MHz for block with upper edge at 783 MHz	17 dBm per antenna	5 MHz
796-801 MHz for block with upper edge at 788 MHz	17 dBm per antenna	5 MHz
788-791 MHz for block with upper edge at 788 MHz	21 dBm per antenna	3 MHz
788-791 MHz for block with upper edge at 783 MHz	16 dBm per antenna	3 MHz
788-791 MHz for block with upper edge at 788 MHz for protection of systems with bandwidth < 3 MHz	11 dBm per antenna	200 kHz
788-791 MHz for block with upper edge at 783 MHz for protection of systems with bandwidth < 3 MHz	4 dBm per antenna	200 kHz

The limits for the duplex gap depend on the usage of this gap.

**Table 9: LTE700 BS Requirements for the part of the FDD duplex gap not used by SDL, BB-PPDR or M2M**

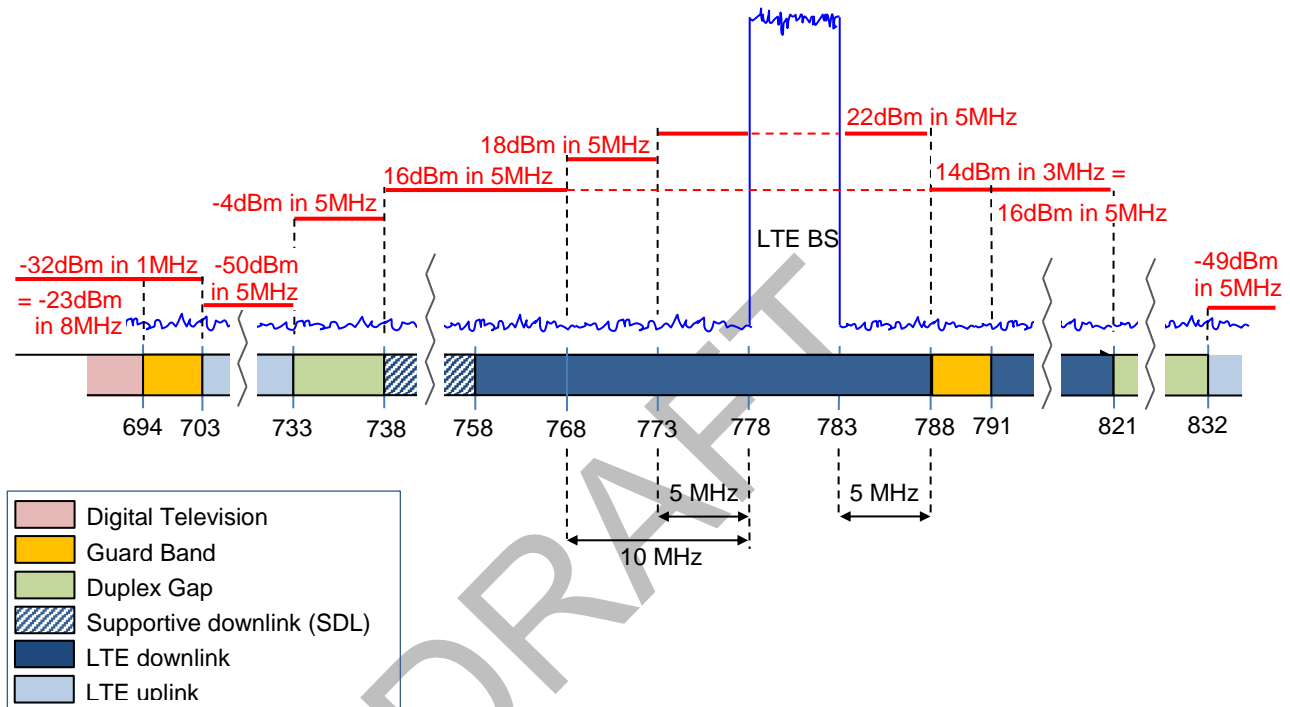
Frequency range	Maximum mean e.i.r.p.	Reference bandwidth
-10 to 0 MHz offset from DL lower band edge or lower edge of the lowest SDL block, but above uplink upper band edge	16 dBm per antenna	5 MHz
More than 10 MHz offset from DL lower band edge or lower edge of the lowest SDL block, but above uplink upper band edge	-4 dBm per antenna	5 MHz

**Table 10: LTE700 BS Requirements for spectrum in guard bands not used by BB-PPDR or M2M**

Frequency range	Maximum mean out-of-block e.i.r.p.	Reference bandwidth
Spectrum between broadcasting band edge and FDD uplink lower band edge (694-703 MHz)	-32 dBm per cell <sup>(1)</sup>	1 MHz
Spectrum between downlink upper band edge and downlink of 800 MHz MFCN (788-791 MHz)	14 dBm per antenna	3 MHz

<sup>(1)</sup> In a multi sector site "cell" refers to one of the sectors.

The following figure 14 illustrates the BEM with the example of a 5 MHz FDD base station operating in the block at 778 – 783 MHz. It is further assumed that the duplex gap is not used by unpaired LTE700 downlinks (SDL), BB-PPDR or M2M and that the LTE700 base station uses one antenna per sector.



**Figure 14: Example BEM for LTE700 BS according to ECC/DEC/(15)01**

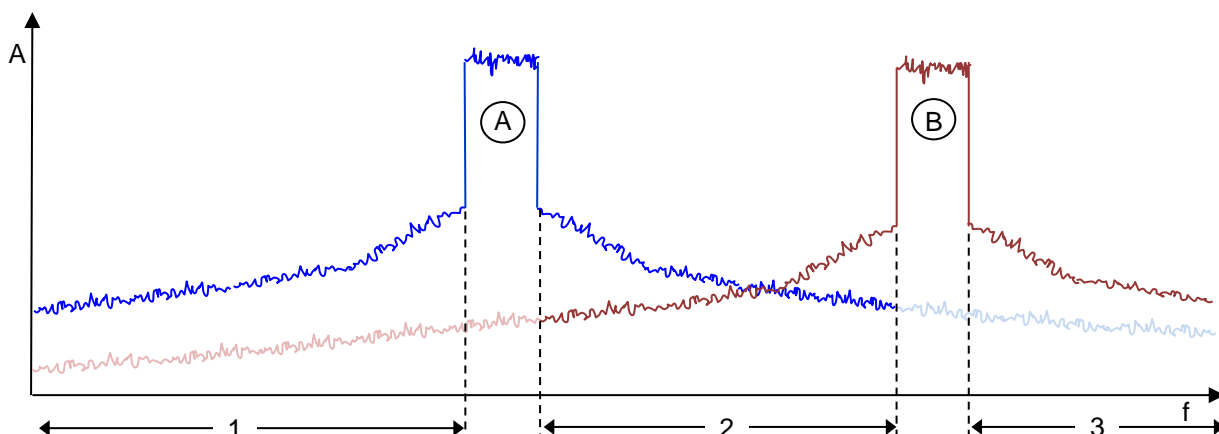
The BEM definitions from ECC/DEC/(15)01 [13] leave some ambiguity. For example, there are no limits in the LTE800 duplex gap between 821 and 832 MHz. In the frequency range 788 – 791 MHz there are two limits for our example station: In Table 8 the limit is 16 dBm in 3 MHz bandwidth and in Table 6 it is 14 dBm.

### A4.3 PRACTICAL CONSIDERATIONS

Annex 3 of this Recommendation defines three different methods to measure BEM compliance of LTE800 base stations:

- Radiated measurement (“off-air”) under normal operating conditions of the LTE base station;
- Conducted measurement under normal operating conditions of the LTE base station;
- Conducted measurement according to ETSI EN 301908-14 [9] while the LTE base station is in a defined test mode.

One of the major advantages of the radiated measurement is that the base station can remain in service during the measurement and that it can be done independent of the operator, even without his knowledge. However, the additional spectrum for LTE700 will in most cases be used by operators also having LTE800 blocks. It is then obvious that they will co-locate LTE700 and LTE800 base stations which leads to the situation that on most transmitter sites there will be at least two LTE blocks receivable with nearly equal level. At these sites it will be difficult, if not impossible, to determine which base station is responsible for the measured unwanted emissions in a certain frequency block. This difficulty applies especially for the frequency range between two LTE blocks.



**Unwanted emissions from two LTE base stations**

If the two stations do not behave completely differently, it can be assumed with reasonable confidence that the unwanted emissions in frequency range 1 originate from station A and those in frequency range 3 from station B. In frequency range 2, however, there is a transition in the dominance of unwanted emissions between station A and B which is unknown. Overstepping of the BEM can therefore not be proven in this frequency range with a radiated measurement. In these cases a measurement at the transmitter output may be more feasible.

For a positive result, however, the radiated measurement method is still applicable: If the total level of unwanted emissions in all frequency ranges remains below the BEM for any of the receivable LTE stations, then all of these stations comply with their BEM requirements.

#### **A4.4 REQUIREMENTS SPECIFIC TO BB-PPDR IN ECC DECISION (16)02**

For the BB-PPDR DL block in 788-791 MHz, the technical requirements as described in ECC/DEC/(15)01 ANNEX 2 apply, extending the applicability of ECC/DEC/(15)01 ANNEX 2 Table 4 to the frequency range 733-821 MHz (BS transition requirements as in Table 7 in A4.2), and with the exception of ECC/DEC/(15)01 ANNEX 2 Table 5 which is not applicable for this band (this is actually MFCN BS transition requirements above 788 MHz in Table 8 in A4.2).

For the BB-PPDR DL block 753-758 MHz, the technical requirements in ECC/DEC/(15)01 ANNEX 2 apply.

For CEPT administrations deploying BB-PPDR radio systems in the 753-758 MHz block and within 788-791 MHz, the BS unwanted emissions level shall be in accordance with ECC/DEC/(15)01 (as in A4.2).

#### **A4.5 MEASUREMENT PROCEDURE AND EVALUATION**

The measurement procedure and evaluation of the results, including the process of converting the absolute BEM limits from ECC/DEC/(15)01 [13] into relative levels are identical to the methods described in Annex 3 of this Recommendation for LTE800 base stations.

## ANNEX 5: LIST OF REFERENCE

This annex contains the list of relevant reference documents.

- [1] ECC/REC/(04)05: Guidelines for Accommodation and Assignment of Multipoint Fixed Wireless Systems in frequency bands 3.4-3.6 GHz and 3.6-3.8 GHz
- [2] ETSI EN 302 326-2: Fixed Radio Systems; Multipoint Equipment and Antennas; Part 2: Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE directive for digital multipoint radio equipment
- [3] CEPT Report 19: Report from CEPT to the European Commission in response to the Mandate to develop least restrictive technical conditions for frequency bands addressed in the context of WAPECS
- [4] CEPT Report 30: Report from CEPT to the European Commission in response to the Mandate on “The identification of common and minimal (least restrictive) technical conditions for 790 - 862 MHz for the digital dividend in the European Union”
- [5] ECC Report 131: Derivation of a block edge mask (BEM) for terminal stations in the 2.6 GHz frequency band (2500-2690 MHz)
- [6] IEEE 802.16-2009: IEEE Standard for Local and metropolitan area networks  
Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems
- [7] JCGM 100:2008: Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement
- [8] ETSI TR 100 028-1 and TR 100 028-2: Electromagnetic and Radio spectrum Matters (ERM);  
Uncertainties in the measurement of mobile radio equipment characteristics (Parts 1 and 2)
- [9] ETSI EN 301 908-14, Harmonized European Standard, “IMT cellular networks; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive; Part 14: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) Base Stations (BS)”
- [10] ETSI TS 136 141, Technical Specification, “LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) conformance testing”
- [11] Commission Decision of 6 May 2010 on harmonised technical conditions of use in the 790-862 MHz frequency band for terrestrial systems capable of providing electronic communications services in the European Union
- [12] ECC Decision (09)03 of 30 October 2009 on harmonised conditions for Mobile/Fixed Communications Networks (MFCN) operating in the band 790-862 MHz
- [13] ECC Decision (15)01 of 6 March 2015 on harmonised technical conditions for mobile/fixed communications networks (MFCN) in the band 694-790 MHz including a paired frequency arrangement (Frequency Division Duplex 2x30 MHz) and an optional unpaired frequency arrangement (Supplemental Downlink)
- [14] ECC Decision (16)02 of 17 June 2016 on harmonised technical conditions and frequency bands for the implementation of Broadband Public Protection and Disaster Relief (BB-PPDR) systems